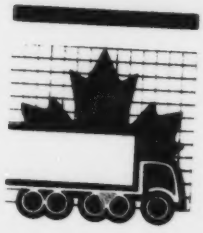
Étude sur les poids et dimensions des véhicules

Rapport du Comité de direction technique

par

J.R. Pearson et al

Société de recherche sur les transports Canroad



Décembre 1986

89-06034/

© Copyright 1986
Société de recherche sur les
transports Canroad
1765, boul. St-Laurent
Ottawa, Canada K1G 3V4

Transports Canada / Canada

Développement / Development

FORMULE DOCUMENTAIRE DU RAPPORT

1. N° du rapport Transports Canada TP8162F	2. N° de l'étude — CDT 6175	3. N° de catalogue du destinataire
4. Titre et sous-titre Étude sur les poids et dimensions des véhicules Rapport du Comité de direction technique		5. Date du rapport Décembre 1986 6. N° du rapport de l'organisme executant
7. Auteur(s) J.R.Pearson et al.		8. N° de dossier Transports Canada D1465-421
9. Nom et adresse de l'organisme executant Société de recherche sur les transports Canroad 1765, boul. St-Laurent Ottawa (Ontario) K1G 3V4		10. N° de dossier — ASC 11SD.T8200-3-3594 11. N° de contrat — ASC ou Transports Canada
12. Nom et adresse de l'organisme parrain Centre de développement des transports (CDT) 200 ouest, boul. Dorchester Suite 601, tour ouest Montréal (Québec) H2Z 1X4		13. Genre de rapport et période visée Rapport final 14. Code de l'organisme parrain
15. Remarques additionnelles Une liste complète des organismes parrains figure dans la preface de ce rapport.		16. Agent de projet — CDT R.L. Sabounghi

17. Résumé

Au Canada, la réglementation du camionnage est du ressort des dix provinces et des deux gouvernements territoriaux. Un tel fractionnement des compétences, auquel se greffent les points de vue techniques contradictoires d'un gouvernement à l'autre, fait naître une très grande diversité dans les réglementations applicables. En 1984, un programme d'étude a été lancé visant à accroître la productivité du camionnage par l'élaboration de principes techniques sur lesquels asseoir une réglementation unifiée des poids et des dimensions. Ce programme de recherche de trois ans, qui a coûté 2,8 millions de dollars, s'est concentré sur les deux domaines suivants: stabilite des véhicules et tenue des chaussées. D'une part, les caractéristiques de stabilité et de conduite des divers types d'ensembles routiers ont été évaluées par divers moyens: simulation par voie informatique, essais de basculement sur table inclinable, essais routiers complets et démonstrations. D'autre part, 14 tronçons routiers, répartis un peu partout au pays et prealablement instrumentes, ont servi à déterminer la tenue des chaussées dans des conditions variables de charge à l'essieu. Les résultats de ce vaste programme de recherche ont été compilés et publiés sous forme de rapports techniques, au nombre de 16. Le present rapport récapitule les faits saillants du programme dans l'optique de la refonte éventuelle de la réglementation. Se basant sur les conclusions techniques de l'étude, ce rapport présente un ensemble de principes directeurs qui pourra servir de charpente à la réglementation unifiée en matière de poids et de dimensions.

18. Mots-clés Camionnage, poids, dimensions, réglementation, Canada, conduite, stabilité, chaussées, tenue, dégradation, charge à l'essieu, suspensions.	19. Diffusion Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires.

20. Classification de sécurité (de ce rapport) non classifié	21. Classification de sécurité (de cette page) non classifiée	22. Nombre de pages 59	23. Prix

CDT/TDC 79-005
Rev 86

Canada

Transport Canada Development / Transports Canada Développement

REPORT DOCUMENTATION FORM

1. Transport Canada Report No.	2. TDC Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP8162F	6175	

4. Title and Subtitle	5. Report Date
Étude sur les poids et dimensions des véhicules Rapport du Comité de direction technique	December 1986
	6. Performing Organization Report No.

7. Author(s)	8. Transport Canada File No.
J.R. Pearson et al.	D1465-421

9. Performing Organization Name and Address	10. DSS File No.
Canroad Transportation Research Corporation 1765 St. Laurent Blvd. Ottawa, Ontario K1G 3V4	11SD.T8200-3-3594
	11. DSS or Transport Canada Contract No.

12. Sponsoring Agency Name and Address	13. Type of Report and Period Covered
Transportation Development Centre 200 Dorchester Blvd. West Suite 601, West Tower Montreal, Quebec H2Z 1X4	Final Report
	14. Sponsoring Agency Code

15. Supplementary Notes	16. TDC Project Officer
A complete list of the sponsors of this study is given in the Preface.	R.L. Sabounghi

17. Abstract

Jurisdiction over vehicle weights and dimensions regulatory practice in Canada falls largely under the 10 provinces and 2 territorial governments. Due to the fractured nature of regulatory responsibility, along with a disparity of technical viewpoints in individual jurisdictions, a considerable degree of non-uniformity exists in vehicle size and weight regulations across the country. The Canadian Vehicle Weights and Dimensions Study was launched in 1984 to provide a sound technical basis for regulatory reform, with increased uniformity the ultimate goal. The three-year, $2.8 million study focused on two main areas of research: vehicle stability and pavement response. The control and stability characteristics of various tractor/trailer configurations were evaluated using computer simulations, rollover analysis employing tilt table tests, full-scale field testing and demonstrations. The relative damaging effects of a variety of truck axle loading conditions were determined at 14 instrumented pavement test sites across Canada. The results of the extensive research program were presented in a 16volume set of technical reports. In this report, the key findings are summarized as they relate to potential regulatory reform. Based on the technical conclusions, a set of candidate principles is developed to serve as the basis for future weights and dimensions policies in Canada.

18. Key Words	19. Distribution Statement
Truck, dimension, weight, legislation, Canada, vehicle handling, stability, pavement, deflection, damage, axle load, suspension.	Limited number of copies are available from the Transportation Development Centre.

20. Security Classification (of this report)	21. Security Classification (of this page)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified	59	

Canada

PRÉFACE

Dans le présent rapport, le Comité de direction technique de l'Étude sur les poids et dimensions des véhicules (commerciaux) fait la synthèse des principaux résultats des travaux de recherche en ce qui concerne la réglementation pertinente. Ce document est donc basé sur les données et conclusions contenues dans seize rapports techniques préparés à contrat par des chercheurs qui ont collaboré à l'étude. En interprétant les résultats de la recherche et en formulant des principes réglementaires fondés sur ces derniers, le comité a émis des jugements qui lui sont propres.

Les opinions exprimées dans ce rapport sont celles du comité et ne correspondent pas nécessairement aux opinions ou aux orientations de la Société de recherche sur les transports Canroad ou des organismes qui la financent.

Les organismes suivants ont contribué au financement de l'étude par l'intermédiaire de la Société Canroad:

Ministère des Transports et de la Voirie de la Colombie-Britannique
Ministère des Transports de l'Alberta
Ministère de la Voirie et des Transports de la Saskatchewan
Ministère de la Voirie et des Transports du Manitoba
Ministère des Transports et des Communications de l'Ontario
Ministère des Transports du Québec
Ministère des Transports du Nouveau-Brunswick
Ministère des Transports et des Travaux publics de l'Île-du-Prince-Édouard
Ministère des Transports de la Nouvelle-Écosse
Ministère des Transports de Terre-Neuve
Transports Canada
Société des fabricants de véhicules à moteur
Association canadienne du camionnage
Association canadienne du camionnage d'entreprise
Truck Trailer Manufacturers Association

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE i

LISTE DES FIGURES v

LISTE DES TABLEAUX v

MEMBRES DES COMITÉS

COMITÉ DE DIRECTION TECHNIQUE vii
COMITÉ CONSULTATIF SUR LA DYNAMIQUE DES VÉHICULES viii
COMITÉ CONSULTATIF SUR LES CHAUSSÉES viii

INTRODUCTION

1.1 Le contexte 1
1.2 Questions soulevées par les poids et dimensions au Canada 1

PARTIE 1 : STABILITÉ ET MANOEUVRABILITÉ DES VÉHICULES

1.0 Introduction 3
2.0 Sommaire des méthodes de recherche 4
2.1 Transfert de technologie 6
2.2 Mesures des performances 6
3.0 Paramètres critiques des divers types de véhicules
3.1 Véhicules articulés 8
3.2 Trains doubles de types A et C 9
3.3 Trains doubles de type B 11
3.4 Trains triples de types A et C 11
4.0 Performances dynamiques relatives des diverses configurations de véhicules 11
5.0 Constatations techniques : stabilité des véhicules 15
6.0 Recommandations 18

PARTIE 2 : RÉACTION DES CHAUSSÉES AUX VÉHICULES LOURDS

1.0 Introduction 19
2.0 Résumé des méthodes de recherche
2.1 Enquêtes sur pistes d'essais 19
2.2 Étude des caractéristiques des suspensions de camion 20
3.0 Essais sur route : résumé des résultats
3.1 Introduction 21
3.2 Conclusions générales 21
3.3 Observations 23
3.3.1 Essieux simples (pneus simples) 23
3.3.2 Essieux simples (pneus jumelés) 23
3.3.3 Essieux tandem 26
3.3.4 Essieux tridem 26
3.3.5 Essieux tandem avec essieu central 26
3.3.6 Vitesse du véhicule 26
3.3.7 Température des chaussées 27
4.0 Recherches sur les caractéristiques des suspensions de camion : résumé des résultats
4.1 Introduction 27
4.2 Discussion générale 27
4.3 Observations 28

4.3.1 Caractéristiques d'égalisation des charges des trains roulants à essieux multiples 28
4.3.2 Caractéristiques de portance de charge de l'essieu relevable 28
4.3.3 Variation de la charge dynamique des roues en fonction de la vitesse du véhicule 28
4.3.4 Variation de la charge dynamique des roues en fonction du type de suspension 28
4.3.5 Variation de la charge dynamique des roues en fonction de l'écartement des essieux 28
4.3.6 Transfert de charge d'un essieu à un autre sous l'effet du freinage 28
5.0 Constatations techniques : réaction des chaussées 29
6.0 Recommandations 31

PARTIE 3 : PRINCIPES DE RÉGLEMENTATION POSSIBLES

1.0 Stabilité et manoeuvrabilité des véhicules 33
2.0 Réaction des chaussées 34

ANNEXE A : ORGANISATION, ÉLÉMENTS ET OBJECTIFS DU PROGRAMME DE RECHERCHE 37

RAPPORTS TECHNIQUES DE L'ÉTUDE SUR LES POIDS ET DIMENSIONS DES VÉHICULES 53

GLOSSAIRE 55

Liste des figures

Figure 1 : Classification des véhicules 5
Figure 2 : Exemples de profil de performances des véhicules 12
Figure 3 : Coefficients d'équivalence de charge 22
Figure 4 : Comparaison des équivalences AASHO et ARTC 24
Figure 5 : Charge de groupe d'essieux correspondant aux dégâts équivalents causés par un essieu simple 25
Figure 6 : Mécanismes d'attelage des ensembles routiers 58
Figure 7 : Types de suspension de camion 59

Liste des tableaux

Tableau 1 : Comportement de divers types de véhicules 14
Tableau 2 : Pistes d'essais — description sommaire 20

ÉTUDE SUR LES POIDS ET DIMENSIONS DES VÉHICULES

CHEF DE PROJET

M. J.R. Pearson, Association des routes et transports du Canada

MEMBRES DU COMITÉ DE DIRECTION TECHNIQUE

PRÉSIDENT

M. M.F. Clark, Ministère de la Voirie et des Transports de la Saskatchewan

MEMBRES

M. P. La Fontaine (1983-1985), Ministère des Transports du Québec
M. G. Tessier (1985-1986), Ministère des Transports du Québec
M. W.A. Phang, Ministère des Transports et des Communications de l'Ontario
M. M.W. Hattin, Ministère des Transports et des Communications de l'Ontario
M. R.J. Lewis, Association canadienne du camionnage
M. M. Ouellette, Mack Canada Inc.
M. R. Saddington, Pétroles Esso Canada
M. E. Welbourne, Transports Canada
M. M. Brenckmann, Transports Canada
M. J.B.L. Robinson (membre d'office), Association des routes et transports du Canada

OBSERVATEURS

M. D.J. Kulash, TRB des États-Unis
M. R. Zink, AASHTO

COMITÉ CONSULTATIF SUR LA DYNAMIQUE DES VÉHICULES

Président
M. J.H.F. Woodrooffe, Conseil national de recherches du Canada

Membres
M. J. Bédard, Centre de recherche industrielle du Québec
M. J.R. Billing, Ministère des Transports et des Communications de l'Ontario
M. N. Burns, Régie des transports de la Saskatchewan
M. G. Cumming, Pétroles Esso Canada
M. S. Gornick, Western Star Trucks
M. R. Houston, Commission des transports routiers de l'Alberta
M. R. Jabel, Hendrickson Manufacturing
M. D. Kee, Advance Engineering Products
M. H. Kleyson, Kleyson Transport
M. B. LeFrançois, Régie de l'assurance automobile du Québec
M. E. Mikulcik, Université de Calgary
M. W. Ng, Transports Canada
M. S. Sankar, Université Concordia
M. J. Wong, Université Carleton

Observateurs

M. M. Freitas, Federal Highway Administration des États-Unis (FHWA)

COMITÉ CONSULTATIF SUR LES CHAUSSÉES

Président
M. K. Hicks, Ministère des Transports du Nouveau-Brunswick

Membres
M. G.H. Argue, Transports Canada
M. M.J. Bailey, Ministère des Transports et des Travaux publics de l'Île-du-Prince-Édouard
M. G.A. Berdahl, Ministère des Transports de l'Alberta
M. P. Demontigny, Ministère des Transports du Québec
M. G. Doré, Ministère des Transports du Québec
M. J. de Raadt, Ministère de la Voirie et des Transports du Yukon
M. J. Hajek, Ministère des Transports et des Communications de l'Ontario
M. G. Heiman, Ministère de la Voirie et des Transports de la Saskatchewan
M. J.W. Kerr, Ministère des Transports et de la Voirie de la Colombie-Britannique
M. A. Livingstone, Ministère de la Voirie et des Transports du Manitoba
M. C.M. Sinclair, Ministère des Transports de la Nouvelle-Écosse
M. E. Thériault, Ministère des Transports de Terre-Neuve

Observateurs

M. P. Diethelm, Minnesota Department of Transportation (AASHTO)
M. R. McComb, Federal Highway Administration (FHWA)

ORGANISMES DE RECHERCHE À CONTRAT

Conseil de recherche de l'Alberta
University of Michigan Transportation Research Institute
Centre de recherche industrielle du Québec
Ministère des Transports et des Communications de l'Ontario
Conseil national de recherches du Canada

CHERCHEURS INVITÉS

M. J. Wong, Université Carleton
M. S. Sankar, Université Concordia
M. J. Bédard, Centre de recherche industrielle du Québec
M. R. Gagné, Centre national de recherches du Canada
M. R. Lewis, Association canadienne du camionnage

1.0 INTRODUCTION

1.1 Le contexte

Les transports routiers jouent un rôle crucial au Canada et pour cause : notre pays comprend six fuseaux horaires, a une superficie de 9 922 330 kilomètres carrés, son climat varie des rigueurs de la toundra arctique aux températures modérées du sud (dont certaines parties se trouvent au sud de la frontière nord de la Californie), et sa topographie est fort diversifiée : de grandes plaines, de grandes régions montagneuses et des centaines de milliers de cours d'eau et de lacs. Tous les ans, le Canada affecte quelque 8 milliards de dollars (dollars canadiens de 1984) à l'infrastructure routière, qui comprend plus de 5 000 km de routes fédérales, 250 000 km de routes provinciales et plus de 600 000 km de routes et rues municipales.

La division des pouvoirs entre les dix provinces, les deux territoires et le gouvernement fédéral est très tranchée. Cela veut dire que chaque palier du gouvernement exerce ses propres pouvoirs de façon quasi-autonome. La réglementation des transports routiers et notamment des poids et dimensions des véhicules incombe presque exclusivement aux dix provinces et aux deux territoires. Le financement, la construction et l'exploitation du réseau routier canadien incombent essentiellement aux provinces et aux municipalités. Les fonds nécessaires proviennent d'impôts directs ou indirects, mais le niveau d'imposition est dicté par la politique fiscale globale et non par les besoins de financement des transports.

Dans ce contexte, les transporteurs routiers jouent un rôle important dans l'économie canadienne. Selon les estimations, 47 pour cent du total des recettes d'exploitation de tous les transporteurs canadiens de marchandises étaient, en 1980, attribuables aux transporteurs routiers pour compte d'autrui. Par comparaison, le transport ferroviaire ne représentait que 38 pour cent de ces recettes. D'après les estimations, les camionneurs pour compte propre et pour compte d'autrui ont transporté en 1980 quelque 80 milliards de tonnes-kilomètres de marchandises. En 1983, les frais d'exploitation de ces deux groupes de transporteurs étaient de l'ordre de 15 à 18 milliards de dollars.

L'importance des transports routiers est loin d'être récente : depuis plus de 50 ans, l'industrie joue un rôle de premier plan dans le transport des marchandises au Canada. Elle est parvenue à offrir un niveau de service souple, efficace et sensible à l'évolution des besoins du marché. Son désir d'offrir un meilleur service et de rechercher de nouveaux marchés a entraîné une augmentation relativement rapide des poids et dimensions des véhicules utilitaires au Canada, surtout depuis une dizaine d'années.

En conséquence, le secteur canadien du camionnage utilise actuellement des camions qui comptent parmi les plus longs, les plus lourds et les plus larges de tous les véhicules utilitaires en service dans le monde. Ce parc est, dans une grande mesure, particulier au Canada et s'explique par les gros chargements qu'il faut transporter sur une variété de routes, dans des conditions géographiques et climatiques extrêmement diverses.

1.2 Questions soulevées par les poids et dimensions au Canada

Au Canada, les poids et dimensions des véhicules utilitaires ont évolué progressivement au fil des années, et, comme les opinions techniques varient d'une administration à une autre, les effets des changements sur la stabilité et la manoeuvrabilité n'ont pas toujours été bien compris. Comme la responsabilité de la réglementation est très fragmentée au Canada, il existe un manque considérable d'uniformité qui empêche les camionneurs d'exploiter efficacement leur parc pour le transport interprovincial.

Le lancement de l'Étude canadienne sur les poids et dimensions des véhicules a surtout été motivé par le désir d'une plus grande uniformité dans la réglementation des poids et dimensions visant

les transporteurs interprovinciaux au Canada. Par contre, un certain nombre d'organismes s'inquiètent au plus haut point des effets que ces changements pourraient avoir sur la sécurité routière. Ils tendent à penser que des améliorations s'imposent sur le plan de l'uniformité et de la productivité, mais que ces améliorations doivent être fondées sur des critères de performances valables, rationnels et vérifiés, et tenir compte des effets sur l'infrastructure. À l'origine, on avait pensé que la capacité des ponts imposerait certaines limites, mais une étude coopérative menée de 1975 à 1979 a révélé que les ponts pouvaient recevoir des charges considérablement plus élevées que celles initialement prévues, et a recommandé que d'autres recherches soient effectuées sur les chaussées et sur les limites qu'elles peuvent imposer.

Les travaux visant à définir les recherches nécessaires ont abouti au lancement de l'ÉPDV au Canada, dont les points saillants sont résumés ci-après. On a estimé que la stabilité des véhicules et la réaction des chaussées étaient les domaines critiques qu'il convenait d'étudier en premier pour uniformiser la réglementation canadienne des poids et dimensions des véhicules à partir de critères techniques valables.

Divers organismes canadiens oeuvrant en collaboration étudient actuellement un certain nombre de questions connexes. Quand il s'agira de recommander des principes uniformes de réglementation pouvant être adoptés à l'échelle nationale, on tiendra compte de ces questions en même temps que des résultats du programme de recherche.

Au nombre des points étudiés citons les suivants :

— l'établissement d'une méthodologie servant à évaluer les effets économiques de l'uniformisation de la réglementation

— la coexistence des véhicules lourds et des autres usagers de la route

— les questions se rapportant à la sensibilité des ponts aux variations de l'écartement des essieux et de la charge à l'essieu, auxquelles peut donner lieu l'introduction de nouvelles configurations

On s'est également rendu compte que le conducteur jouait un rôle important dans l'interaction entre le véhicule et le réseau routier. Quand on a cherché avant tout à comprendre les effets des variations des paramètres des véhicules sur les performances dynamiques, on a supposé que tous les conducteurs devaient avoir accès au matériel optimal convenant à la tâche.

PARTIE 1 : STABILITÉ ET MANOEUVRABILITÉ DES VÉHICULES

1.0 INTRODUCTION

Les enquêtes les plus nombreuses qui aient été réalisées dans le cadre de l'Étude sur les poids et dimensions des véhicules consistaient à examiner et à vérifier à l'aide d'essais les caractéristiques de stabilité et de manoeuvrabilité des gros véhicules articulés servant au transport interprovincial des marchandises.

Le Transportation Research Institute de l'université du Michigan a procédé à de nombreuses simulations des performances des configurations en service en se basant sur une grande gamme de variations de ces configurations. Les résultats de ces travaux sont exposés en détail dans les volumes 1 et 2 des rapports techniques.

Le ministère des Transports et des Communications de l'Ontario a procédé aux essais des configurations de référence et de trois configurations spéciales et a également étudié les caractéristiques du diabolo à double timon à l'aide d'autres essais. Les résultats de ces programmes d'essais sont exposés dans les volumes 3 à 6 des rapports techniques.

Le Centre de recherche industrielle du Québec a réalisé un programme d'essais sur plate-forme inclinable dans le but d'étudier la sensibilité de la stabilité latérale des véhicules articulés à la variation des paramètres et du matériel. Le volume 7 des rapports techniques fait état des résultats de ce programme.

La section ci-après est surtout basée sur les travaux du Transportation Research Institute de l'université du Michigan, mais s'appuie également sur les résultats des autres enquêtes. Les rapports détaillés susmentionnés présentent un grand nombre de constatations techniques, mais celles que comprend le présent rapport ont été choisies parce qu'elles se rapportent à la question de la réglementation des poids et dimensions des véhicules.

Le rapport aborde en particulier les effets de la direction et du freinage sur la stabilité et la manoeuvrabilité des véhicules. Les constatations ont été formulées en termes de mesures des performances que l'on estime représenter certaines qualités sécuritaires des véhicules. Ainsi, comme toute nouvelle réglementation des poids et dimensions doit tenir compte de l'incidence possible des normes établies sur la sécurité, les données découlant de ces constatations devraient permettre de formuler une politique générale. **Par ailleurs, les résultats qui révèlent que les performances d'une configuration en service sont inférieures aux performances d'une autre configuration indiquent par la même occasion le moyen d'améliorer la sécurité globale du camionnage.** Comme on le montrera, ces résultats ont établi les faits suivants :

a. Les performances varient considérablement dans la gamme des configurations de camions actuellement en service au Canada.

b. Les performances dynamiques sont, dans divers cas, extrêmement sensibles au moindre changement des poids et dimensions. Il est donc manifeste qu'on ne peut se contenter de supposer que de légères variations des poids et dimensions établies n'auront que des effets négligeables sur la stabilité et la manoeuvrabilité.

c. De même, les performances dynamiques varient également beaucoup en fonction des composants optionnels dont on décide d'équiper les véhicules lourds. Étant donné qu'un acheteur de camion peut choisir un bien plus grand nombre d'options que l'acheteur d'une automobile, il est très significatif que ce choix s'étend à toute la gamme des composants qui déterminent directement la stabilité et la manoeuvrabilité du véhicule.

d. La manoeuvrabilité d'un camion est dictée par :

(1) la configuration de base
(2) les limites de poids et de dimensions
(3) les options choisies par l'acheteur

Cela veut dire, d'une part, qu'un véhicule donné choisi par le camionneur risque d'avoir des performances insatisfaisantes, mais, d'autre part, qu'il est possible de redresser la situation en réglementant avec soin les types de configuration de camion et leurs dimensions et poids limites correspondants. Il convient également de diffuser les résultats des recherches aux camionneurs afin qu'ils prennent conscience des effets que leur choix de composants peut avoir sur la manoeuvrabilité de leur véhicule.

La section ci-après examinera ces constatations générales à la lumière des facteurs suivants :

— les moyens utilisés pour caractériser les performances

— un sommaire de la sensibilité de chaque type de camion en service au Canada aux principaux paramètres

— une comparaison globale des profils de performances de tous les différents types de configuration de camion

— un résumé des constatations générales de l'étude

— les recommandations qu'étayent ces constatations

— les principes de réglementation susceptibles de servir à la formulation d'une politique générale

2.0 SOMMAIRE DES MÉTHODES DE RECHERCHE

Pour procéder à l'analyse des caractéristiques de stabilité et de manoeuvrabilité des ensembles routiers, il fallait recueillir diverses données manquantes et établir des modalités pour l'analyse des performances de la grande diversité d'ensembles routiers utilisés au Canada. Les principaux éléments de ces travaux ont été les suivants :

1. Pour identifier les configurations de camion qu'il convenait d'étudier, on organisa, dans six centres provinciaux, une série de rencontres auxquelles on invita des représentants de l'industrie du camionnage pour leur demander d'indiquer le matériel le plus en vogue dans leur région, c'est-à-dire surtout la configuration, le type, la disposition géométrique, le chargement et le choix des composants.

2. La description des ensembles routiers donna lieu à l'établissement d'une matrice d'étude portant sur les principaux types de véhicules et sur la gamme maximale de variables de poids et de dimensions et de choix de composants. Ces types de véhicules furent répartis en six catégories, comme le montre la figure 1.

3. Les composants populaires au Canada mais dont les propriétés mécaniques n'avaient pas été établies par des recherches antérieures firent l'objet de mesures en laboratoire.

4. On passa ensuite à une série de simulations informatiques portant sur toute la gamme de types de véhicules pour divers choix de poids et de dimensions, ainsi que diverses caractéristiques de composants et diverses manoeuvres rendant plus difficile la maîtrise du véhicule.

Figure 1 : Classification des véhicules

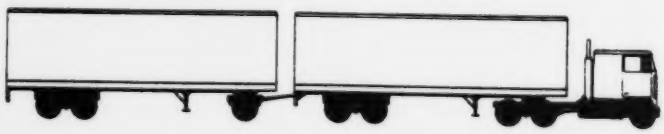
Catégorie	Configuration de référence

1. Véhicule articulé

2. Train double de type A

3. Train double de type B

4. Train double de type C



5. Train triple de type A

6. Train triple de type C

5. Pour visualiser les performances des véhicules, on procéda à des essais grandeur nature des véhicules de référence des six catégories et de certaines autres configurations. Les données tirées des essais ainsi que l'enregistrement magnétoscopique de ces essais sont venus étayer les analyses des simulations et les conclusions sur lesquelles le présent document est basé.

6. Un programme d'essais visant à compléter et vérifier les simulations du seuil de renversement statique fut réalisé sur une plate-forme inclinable avec des véhicules d'une configuration apte à illustrer l'influence des variables (paramètres et équipement) sur cette mesure des performances.

7. Dans le but d'améliorer les moyens de recherche canadiens dans le domaine de la stabilité et de la manoeuvrabilité des véhicules lourds, un programme de chercheurs invités fut lancé dans le cadre de l'étude. Cinq chercheurs canadiens reçurent des fonds pour acquérir des connaissances dans divers aspects de ce domaine ou pour augmenter les connaissances qu'ils avaient déjà, et furent tenus d'organiser des ateliers et de rédiger des rapports techniques sur leurs recherches, dans le but de diffuser des données et la technologie qu'ils avaient acquise.

2.1 Transfert de technologie

Dans le but d'améliorer ses moyens de recherche dans le domaine de la stabilité et de la manoeuvrabilité des véhicules lourds, le Canada obtint la technologie de simulation et de modélisation du Transportation Research Institute de l'université du Michigan. Sous la direction de M. Roland Gagné et de deux des chercheurs invités, MM. Jo Wong et Mustafa El-Gindy, des modèles et des dossiers de données paramétriques furent obtenus et installés au Laboratoire des systèmes du Conseil national de recherches du Canada. Après plusieurs mois d'étude et de recherches, MM. Wong et El-Gindy préparèrent un guide des modèles à l'intention des usagers et organisèrent un cours sur leur utilisation pour les personnes intéressées du milieu des transports.

Les modèles ont été mis à la disposition de toute personne qui en a fait la demande au Canada, et sont de plus en plus utilisés par les chercheurs et les universitaires canadiens.

2.2 Mesures des performances

Dans l'analyse des performances des véhicules à l'aide des simulations informatisées, une variété de mesures servirent à caractériser la nature et le niveau des limites de manoeuvre de tous les véhicules de la matrice. Les conclusions de l'étude sont présentées ci-après en termes de sept de ces mesures regroupées en deux groupes : mesures de la stabilité et de la manoeuvrabilité, et mesures de la dérive de l'essieu. Voici les définitions de ces mesures :

MESURES DE LA STABILITÉ ET DE LA MANOEUVRABILITÉ :

A. Le **seuil de renversement statique** définit le virage maximal qu'un véhicule peut prendre sans se renverser. La mesure elle-même, exprime le niveau d'accélération latérale, en g d'accélération latérale, au-delà duquel le renversement se produit. En règle générale, les camions chargés ont un seuil de renversement situé entre 0,25 et 0,40 g, une fourchette légèrement supérieure à celle des voitures particulières dans des conditions de conduite normales. On sait qu'il existe une forte corrélation entre cette mesure de la stabilité des camions et la fréquence des cas de renversement de camion sur les routes.

Mesure : accélération latérale en g
Gamme : 0,0 à 1,0

B. La **résistance au renversement dynamique** caractérise à quel point un véhicule se rapproche du renversement dans une manoeuvre dynamique, par exemple quand il fait une embardée pour

éviter un obstacle sur la route. Cette mesure est exprimée en termes de la différence fractionnelle de chargement des pneus de gauche et de droite pendant la manoeuvre, indiquant ainsi à quel point le véhicule a risqué de perdre le contact avec la chaussée sur un côté et de se renverser. La valeur qui est établie reflète les tendances d'amplification de déportement des ensembles routiers à remorques multiples quand le véhicule braque soudainement. Cette mesure a été particulièrement adaptée à l'étude des trains routiers spéciaux utilisés au Canada, notamment les trains routiers de types B et C, qui comprennent, entre les remorques, des timons rigides dont la réaction dynamique à la répartition des charges fait obstacle au renversement.

Mesure : Rapport de transfert de charge = somme$|F_L - F_R|$/somme $(F_L + F_R)$

où F_L = charge des pneus gauches

F_R = charge des pneus droits

Gamme : 0,0 à 1,0

C. La mesure dénommée **besoin d'adhérence en virage serré** se rapporte à la résistance d'essieux multiples non directeurs à un déplacement qui épouse un virage à faible rayon de courbure, par exemple dans une intersection. Dans le cas des semi-remorques à grand écartement d'essieu notamment, la résistance au déplacement sur un trajet circulaire entraîne la nécessité d'une force latérale sur les pneus des essieux tandem du tracteur. Quand la chaussée a un faible coefficient de frottement, il se peut que ces véhicules se mettent en portefeuille. La mesure du besoin d'adhérence décrit le coefficient minimal de frottement de la chaussée dont un véhicule a besoin pour prendre un virage sans perte de contrôle. Quand la conception du véhicule est telle qu'il exige un coefficient de frottement élevé, on considère que le véhicule ne peut être conduit sur des chaussées à plus faible coefficient de frottement, c'est-à-dire sur la majorité des chaussées canadiennes en hiver.

Mesure : Coefficient de frottement de pointe (u)
Portée : 0,0 à 1,0

D. La mesure de **l'efficacité de freinage** indique l'aptitude du système de freinage à utiliser au maximum la liaison pneu/sol disponible à chaque essieu. Il s'agit du pourcentage de la limite d'adhérence pneu/chaussée disponible pouvant être utilisé pour un arrêt d'urgence sans blocage des roues. À titre d'exemple, un véhicule a une efficacité de freinage de 50 pour cent seulement si ses roues se bloquent quand il freine à 0,2 g sur une surface qui, idéalement, se prête à un arrêt à 0,4 g. L'efficacité de freinage sert à caractériser la qualité de l'ensemble du système de freinage comme principal mécanisme d'évitement des accidents.

Mesure : rapport (en pourcentage) de la décélération (en g) à laquelle se produit le premier blocage de roue au coefficient de frottement maximal exigé par un essieu quelconque pour éviter le blocage des roues
Portée : 0 % à 100 %

MESURES DE LA DÉRIVE DE L'ESSIEU :

E. La **dérive de l'essieu à faible vitesse** décrit l'importance du déportement qui se produit dans un virage type de 90 degrés à rayon de 11 mètres. Dans un virage à droite, par exemple, le dernier essieu de la remorque suit une trajectoire qui se trouve bien à droite de celle du tracteur, ce qui veut dire qu'il faut prévoir un plus grand dégagement de la chaussée aux intersections. Cette caractéristique dénote la compatibilité de la configuration de véhicule avec l'ensemble du réseau routier, et a des incidences sur la sécurité routière ainsi que sur la protection des structures en bordure de route.

Mesure : écart maximal (en mètres) entre la trajectoire du dernier essieu du véhicule et celle de l'essieu directeur du tracteur dans un virage à 90°
Portée : 0 m à l'infini

F. La **dérive de l'essieu à grande vitesse** mesure le déportement du dernier essieu d'un ensemble routier dans un virage modéré d'une accélération latérale de 0,2 g. Cette mesure est exprimée en termes du déboîtement latéral, en mètres, entre la trajectoire de la remorque et celle du tracteur. Il est évident qu'une remorque qui suit une trajectoire déportée pouvant rencontrer un rebord de trottoir ou un véhicule ou obstacle adjacent constitue un danger à la sécurité.

Mesure : Distance maximale (en mètres) entre la trajectoire du dernier essieu et la trajectoire de l'essieu directeur d'un tracteur effectuant à 100 km/h un virage régulier d'un rayon de 393 m
Portée : 0 m à l'infini

G. La **dérive passagère de l'essieu à grande vitesse** est mesurée dans la même manoeuvre d'évitement d'obstacle que celle qui sert à définir la résistance au renversement dynamique. Il s'agit du déportement maximal du dernier essieu de la remorque à la suite d'une manoeuvre abrupte comme un changement brusque de voie. L'importance du déportement du dernier essieu est une indication relative de l'empiétement possible sur une voie adjacente ou du heurt possible d'un rebord de trottoir (avec les risques de renversement que cela sous-entend). Cette mesure quantifie l'amplitude du flottement à la suite d'une sollicitation brusque de la direction.

Mesure : déportement latéral maximal (en mètres) du dernier essieu du véhicule par rapport à la trajectoire suivie par l'essieu directeur du tracteur lors d'une manoeuvre d'évitement d'un obstacle.
Gamme : 0 m à l'infini

3.0 PARAMÈTRES CRITIQUES DES DIVERS TYPES DE VÉHICULES

La section ci-après examine la sensibilité des performances dynamiques aux variations dans le choix des composants et dans le poids et les dimensions de chaque type de configuration. Les résultats indiquent les types de manoeuvres où les performances de chaque type de véhicule varient sensiblement en fonction du paramètre en question.

3.1 Véhicules articulés

Voici les paramètres critiques qui ont été établis dans le cas des véhicules articulés :

Longueur du tracteur et de la remorque
Plus un tracteur ou une semi-remorque est long, plus son empattement est long lui aussi. L'effet le plus significatif de l'allongement de l'empattement est l'augmentation de la dérive de l'essieu à faible vitesse. Dans le cas des remorques d'une longueur hors tout de 14,6 m (48 pieds), il suffit que l'empattement augmente d'un mètre (3,3 pieds) pour que la dérive de l'essieu à faible vitesse augmente de 0,6 m (2 pieds). Le même phénomène se produit dans le cas des tracteurs : quand l'empattement du tracteur augmente d'un mètre, la dérive de l'essieu augmente de 0,35 m (1,1 pieds). Par contre, les tracteurs ayant un long empattement sont moins sensibles à l'effet de lacet et peuvent également se sortir plus facilement d'un début de mise en portefeuille (Volume 1, p. 73).

Écartement des essieux de la remorque
L'augmentation de l'écartement entre deux essieux adjacents n'a d'effet direct sur les performances du véhicule que quand celui-ci a besoin d'une bonne adhérence dans un virage serré. L'analyse montre une corrélation directe entre le besoin d'adhérence des pneus arrière du tracteur et le carré de l'écartement des essieux de la semi-remorque. Le pire des cas examinés

a été celui d'une semi-remorque à quatre essieux où l'écartement était de 8,7 m (28,5 pieds). Ce véhicule avait besoin d'un coefficient de frottement de 0,71 pour tourner dans une intersection. Normalement, le coefficient de frottement va de 0,1 sur les routes verglacées ou enneigées à 0,4-0,7 sur les routes sèches. Bien qu'on puisse remédier à ce problème en utilisant des essieux à coussin d'air qui se relèvent pour prendre un virage serré, on suppose qu'une telle pratique ne saurait justifier le supplément de charge imposé à la chaussée. En conséquence, ces cas n'ont pas été examinés dans la présente étude (volume 1, p. 76).

Suspension du tracteur et de la remorque
La résistance au renversement statique varie considérablement en fonction du type de suspension. Il est toutefois manifeste que les variations des performances dépendent davantage des détails de la conception que du type de suspension proprement dit (coussin d'air par opposition à ressorts à lames elliptiques, ou balancier par opposition à suspension à quatre ressorts, etc.). Le type de suspension que choisissent les acheteurs de nouveaux camions a des incidences sur la sécurité, car la plupart de ces acheteurs ne savent rien des effets de leur choix sur la sécurité. Cela veut dire que les véhicules en service peuvent avoir une stabilité inférieure à celle que pourrait leur offrir la technologie actuelle (volume 1, p. 85).

Hauteur du centre de gravité de la charge utile
La hauteur du centre de gravité de la charge utile est, de toutes les variables, celle qui détermine le plus la stabilité et la manoeuvrabilité d'un camion. Dans l'ensemble, plus le centre de gravité de la charge utile est élevé, plus la résistance au renversement statique, la résistance au lacet, la dérive de l'essieu à grande vitesse et l'efficacité de freinage se détériorent. Par conséquent, toute augmentation de la charge admissible qui se traduit par une élévation du centre de gravité de la charge utile (par exemple, quand on autorise une charge plus grande pour une même surface de plancher de la remorque), réduira la stabilité et la manoeuvrabilité du véhicule si on ne compense pas cette élévation par une augmentation de la voie ou par une amélioration des caractéristiques de stabilité de la suspension (Volume 1, p. 92).

Charge à l'essieu
À moins qu'elle ne soit compensée par un choix judicieux de la suspension, des freins et des pneus, toute augmentation de la charge à l'essieu entraîne généralement une perte de manoeuvrabilité, notamment sur le plan de la résistance au renversement statique, de la résistance au lacet, de la dérive de l'essieu à grande vitesse, de l'efficacité de freinage et de l'adhérence dans un virage serré (particulièrement si seules les charges à l'essieu de la remorque sont augmentées) (Volume 1, p. 103).

Essieux centraux orientables
Comme les essieux centraux non orientables tendent à exiger une grande adhérence dans les virages serrés, on a également envisagé l'emploi d'essieux centraux autovireurs. Une remorque qui comporte, vers le milieu de son empattement, un seul essieu central orientable a des performances presque aussi bonnes que celles d'une semi-remorque classique à deux essieux (Volume 1, p. 115, Volume 2, Annexe E).

Largeur du tracteur
On peut améliorer à la fois la stabilité latérale et la résistance au lacet du tracteur en augmentant la largeur hors tout pour la faire passer de 2,44 m (96 pouces) à 2,59 m (102 pouces) au niveau des essieux (Volume 1, p. 92).

3.2 Trains doubles de types A et C

La section ci-après porte sur les paramètres critiques des trains doubles de types A et C. Le train double de type A comprend un tracteur tirant deux remorques, la deuxième étant attelée par un diabolo classique au crochet d'attelage de la première. Dans un train double de type C, un diabolo

à double timon relie la deuxième remorque aux deux crochets d'attelage jumelés de la première. Le diabolo comprend un essieu orientable qui réduit le ripage des pneus dans les virages serrés.

Longueur de la remorque et emplacement du dispositif d'attelage
On sait que la longueur de la remorque ou, plus précisément, la longueur de son empattement, a une forte influence sur les caractéristiques suivantes :

— dérive de l'essieu à faible vitesse

— dérive de l'essieu à grande vitesse

— résistance au renversement dynamique

— dérive passagère de l'essieu à grande vitesse

Plus l'empattement est long, plus la dérive de l'essieu à faible vitesse est forte. Par contre, plus l'empattement est long, plus la remorque a de bonnes performances dans les trois autres caractéristiques ci-dessus. Par exemple, un train double de type A à remorques de 14,6 m (48 pieds) aura une plus grande dérive de l'essieu à faible vitesse, mais de bien meilleures propriétés dynamiques qu'un train double de type A à remorques de 8,2 m (27 pieds). Bien que les trains doubles de type C aient une stabilité dynamique bien supérieure à celle des trains doubles de type A, la sensibilité des deux types à la longueur des remorques est essentiellement la même.

L'emplacement des crochets d'attelage à l'arrière de la première remorque détermine la longueur du porte-à-faux arrière. Plus ce porte-à-faux est grand, plus la stabilité dynamique des deux types de trains doubles se détériore. Le train double de type C est particulièrement sensible à ce paramètre, notamment quand il a un long timon. Dans de tels cas, un mouvement oscillatoire de plus en plus fort se produit aux vitesses pratiquées en rase campagne (Volume 1, p. 117).

Charge à l'essieu
Les performances dynamiques des trains doubles de type A ou C se détériorent généralement quand la charge à l'essieu augmente. La dérive dynamique et la stabilité sont aggravées par l'élévation du centre de gravité de la charge utile qu'entraîne l'augmentation de cette charge, ainsi que par l'altération des propriétés des pneus à laquelle donne lieu l'augmentation de la charge des pneus (Volume 1, p. 126).

Charge partielle
Un problème se pose dans le cas des trains doubles comprenant une remorque chargée suivie d'une remorque vide, car la deuxième remorque est soumise à des sollicitations excessives des freins et peut devenir instable en cas d'arrêt d'urgence (Volume 1, p. 134).

Choix des pneus
La tenue en virage des pneus a une grande influence sur la réaction dynamique de divers trains doubles à la direction. En règle générale, les pneus radiaux sont bien préférables car ils offrent une plus grande rigidité, ce qui améliore la tenue en virage (Volume 1, p. 145).

Caractéristiques de tenue de cap des diabolos de trains doubles de type C
Les variations de la tenue de cap du diabolo d'un train double de type C peuvent avoir une grande influence sur la dérive dynamique et sur la stabilité, surtout quand le timon est long. Quand les forces de tenue de cap sont réduites, les roues du diabolo deviennent survireuses dans les manoeuvres dynamiques, de sorte que la dernière remorque peut tendre à se décaler latéralement lors d'une manoeuvre rapide, et peut même tendre à osciller de plus en plus quand la vitesse de marche est élevée (Volume 1, p. 150).

Ordre inversé des remorques dans les trains doubles de longueurs inégales
Quand la plus courte des deux remorques de longueurs inégales d'un train double est placée à l'avant plutôt qu'à l'arrière, cela n'influence que très légèrement les performances dynamiques (Volume 1, p. 141).

3.3 Trains doubles de type B

Comme celles des autres trains doubles, les performances des trains doubles de type B sont sensibles à la longueur des remorques, à la charge à l'essieu, aux charges partielles et au type de suspension. Par contre, les résultats montrent que le train double de type B est, à de nombreux égards, supérieur aux deux autres types parce que ses performances sont moins sensibles à ces facteurs. Une étude spéciale de l'emploi des sellettes d'attelage du type compensatoire pour raccorder entre elles les remorques d'un train double de type B a montré que cet élément n'entraîne aucune détérioration importante des performances dynamiques. Par ailleurs, l'emploi d'un essieu central orientable ne nuit guère aux performances des configurations de trains doubles du type B qui ont été examinées (Volume 1, p. 156-191).

3.4 Trains triples de types A et C

Les performances des divers trains triples sont sensibles aux mêmes paramètres que les configurations correspondantes de trains doubles de type A et C. Autrement dit, la longueur des remorques, l'emplacement du dispositif d'attelage, la charge à l'essieu, les caractéristiques de centrage des diabolos de trains du type C, et les charges partielles tendent à influencer les performances des trains triples de la même façon que celles des trains doubles. Par contre, les performances des trains triples sont bien plus sensibles dans chaque cas, de sorte que les performances globales du train triple sont généralement bien inférieures à celles du train double correspondant. La seule exception prometteuse est le fort degré de stabilité dynamique du train triple de type C équipé d'un diabolo presque rigide (Volume 1, p. 192-209).

4.0 PERFORMANCES DYNAMIQUES RELATIVES DES DIVERSES CONFIGURATIONS DE VÉHICULES

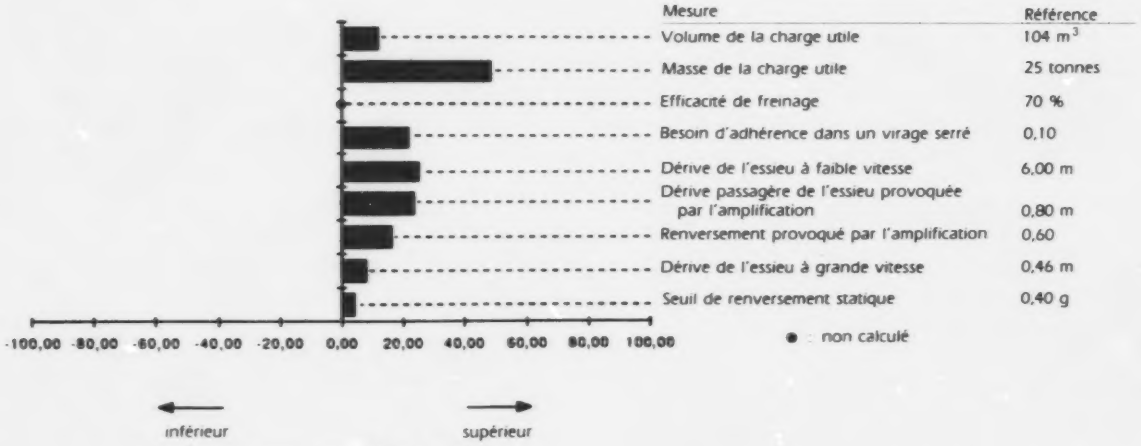
La conclusion la plus importante qui ressort de cette étude est que la stabilité et la manoeuvrabilité des camions en service au Canada varient considérablement selon la configuration. Dans un grand nombre de cas, ces différences de performances correspondent à des risques plus élevés ou plus faibles sur le plan de la sécurité. Bien qu'il soit rarement possible de quantifier le degré de risque, il y a tout lieu de penser que certains types de véhicules sont plus susceptibles que d'autres d'avoir certains types d'accident dans des conditions d'exploitation identiques.

Pour résumer les qualités de chaque type de véhicule, on a eu recours à certaines mesures de la productivité, ainsi qu'aux sept mesures des performances décrites ci-dessus. Cette évaluation a permis d'identifier les points forts et les points faibles de chaque véhicule au point de vue productivité et performances. Les indices de productivité utilisés ne tiennent compte que du volume et du poids de la charge utile pouvant être transportée par chaque configuration, et ne tiennent pas compte des efficacités d'exploitation plus subtiles qui distinguent un type de véhicule d'un autre. Par ailleurs, les comparaisons de performances donnent une image quelque peu étroite des propriétés de chaque véhicule, étant donné qu'elles ne visent que les conditions de référence, c'est-à-dire la conduite à pleine charge.

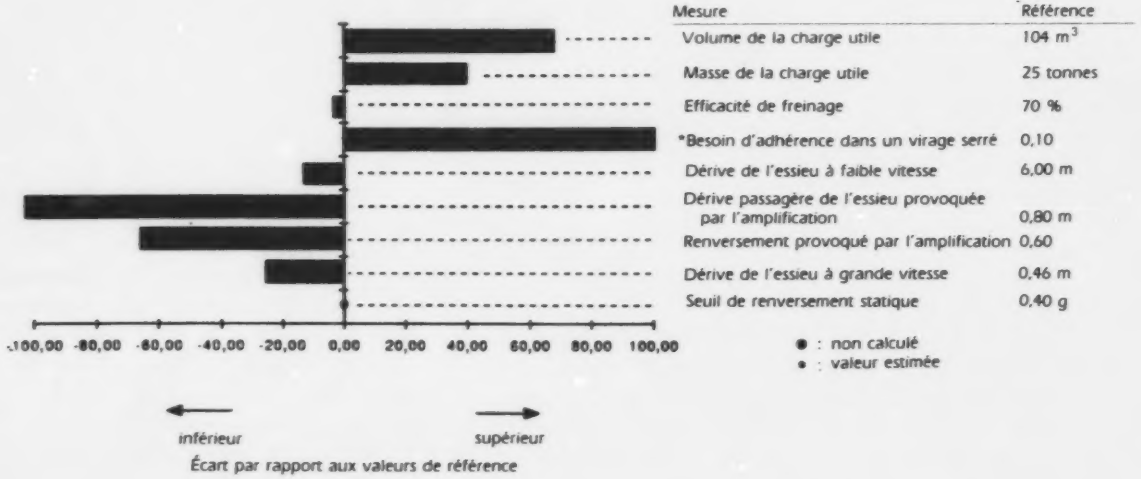
Les profils de performances illustrés à la figure 2 représentent la mesure dans laquelle la capacité et les performances dynamiques de deux véhicules qui se sont classés respectivement parmi les premiers et les derniers de tous les véhicules évalués s'écartent des valeurs de référence. Comme

Figure 2 : Exemples de profil de performances des véhicules

Train double de type B à huit essieux (véhicule de référence)



Train triple de type A à huit essieux (véhicule de référence)



on peut le constater, le train double de type B à huit essieux a des propriétés égales ou supérieures aux valeurs de référence retenues. Par contre, le train triple de type A à huit essieux a, dans un certain nombre des réactions dynamiques étudiées, des performances inférieures à celles du véhicule de référence. Toutefois, bien que ces deux véhicules puissent transporter une charge utile d'un même poids, il est évident que le train triple peut transporter un plus gros volume. Les chercheurs ont choisi les valeurs de référence qui ont servi à évaluer les performances dynamiques en se basant sur la combinaison suivante :

(a) les performances du véhicule articulé à cinq essieux
(b) une valeur donnée qui pouvait être justifiée par des contraintes opérationnelles manifestes
(c) une valeur correspondant au milieu nominal de la gamme des performances des ensembles routiers utilisés au Canada.

Les performances de référence sont des points de repère choisis par des experts de la dynamique des véhicules en fonction des caractéristiques de stabilité et de manoeuvrabilité qu'il serait bon de trouver sur les véhicules articulés utilisant le réseau des routes publiques. Ces valeurs de référence ne correspondent pas aux normes minimales actuellement imposées par les diverses administrations. Le tableau 1 présente un résumé des performances des vingt-deux configurations de véhicule différentes examinées dans les simulations (Volume 1, p. 217-238).

L'établissement d'une ventilation comme celle-là entraîne une part de subjectivité quand il s'agit d'évaluer la gravité relative des diverses limitations imposées aux performances. Malgré cela, étant donné que le projet visait explicitement à faciliter la formulation d'une politique générale, cette catégorisation devrait être d'une certaine utilité aux responsables. Il convient toutefois de souligner que les caractéristiques de stabilité et de manoeuvrabilité ne sont que deux facteurs dans l'équation de la sécurité routière, et que la sécurité n'est qu'un des aspects dont il faut tenir compte dans la formulation d'une réglementation des transports routiers.

Tableau 1 : COMPORTEMENT DE DIVERS TYPES DE VÉHICULES

CONFIGURATION	CHARGE UTILE		STABILITÉ ET MANOEUVRABILITÉ				DÉRIVE DE L'ESSIEU		
Valeurs de référence	Volume 104 m	Masse 25 t	Renversement statique 0,4 g	Renversement dynamique 0,60	Besoin d'adhérence 0,10	Efficacité de freinage 70 %	Faible vitesse 6 m	Grande vitesse 0,46 m	Passagère gr. vit. 0,80 m
VÉHICULES ARTICULÉS									
Référence — 5 essieux	–	–	○	○	○	○	○	○	○
Tridem faible écartem.	–	+	○	○	○	n.d.	○	○	○
Tridem grand écartem.	–	+ +	◐	○	●	n.d.	○	◐	○
Quatre essieux	–	+ +	◐	◐	●	n.d.	○	○	○
Essieu cent. avec tand.	–	+ +	○	○	●	n.d.	○	○	○
TRAINS DOUBLES TYPE A									
Référence — 8 essieux	+	+ +	○	●	○	○	○	○	○
7 essieux	+	+ +	◐	●	○	○	○	◐	●
6 essieux	+	+	○	●	○	○	○	◐	◐
Remorques de 45 pieds	+ +	+ +	○	○	○	○	●	○	○
Train des Rocheuses	+ +	+ +	○	◐	○	○	●	◐	○
TRAINS DOUBLES TYPE C									
Référence — 8 essieux	+	+ +	○	○	◐	○	○	◐	○
7 essieux	+	+ +	◐	○	○	○	○	◐	◐
6 essieux	+	+	○	○	○	○	○	●	○
Train des Rocheuses	+ +	+ +	○	○	○	○	●	●	○
TRAINS DOUBLES TYPE B									
Référence 8 essieux	+	+ +	○	○	○	n.d.	○	○	○
7 essieux	+	+ +	○	○	○	○	○	○	○
6 essieux	+	–	○	○	○	○	○	○	○
Essieu central	+ +	+ +	○	○	○	n.d.	○	◐	○
TRAINS TRIPLES TYPE A									
Référence — 8 essieux	+ +	+ +	n.d.	●	○	◐	◐	●	●
11 essieux	+ +	+ +	n.d.	●	○	◐	◐	◐	●
TRAINS TRIPLES TYPE C									
Référence — 8 essieux	+ +	+ +	n.d.	○	○	◐	◐	●	●
11 essieux	+ +	+ +	n.d.	○	◐	◐	○	●	●

LÉGENDE

CHARGE UTILE

– = égal à la valeur de référence
+ = supérieur d'un maximum de 20 %
+ + = supérieure de plus de 20 %

STABILITÉ, MANOEUVRABILITÉ ET DÉRIVE DE L'ESSIEU

○ = égal ou supérieur à la valeur de référence
◐ = inférieur de moins de 20 % à la valeur de référence
● = inférieur de plus de 20 % à la valeur de référence

n.d. = valeur non disponible

5.0 CONSTATATIONS TECHNIQUES : STABILITÉ DES VÉHICULES

1. Le tracteur avec semi-remorque à essieu tridem à faible écartement offre une plus grande productivité sans vraiment sacrifier la stabilité ou la manoeuvrabilité par rapport au tracteur de référence avec semi-remorque à deux essieux.

L'essieu tridem à faible écartement, qu'il soit sur une seule longue semi-remorque ou sur la remorque centrale d'un train de type B, améliore la stabilité, car il est généralement moins chargé qu'un essieu tandem et permet un chargement presque horizontal des marchandises (sous réserve des contraintes frappant la répartition de la charge).

Il convient toutefois de souligner que l'emploi d'un essieu tridem sur les longues semi-remorques risque d'encourager plus souvent le placement du groupe d'essieu vers l'avant par souci de la répartition de la charge. Cette pratique peut augmenter les risques d'encastrement par l'arrière, ainsi que les mouvements de balancier de la remorque dans les tournants, si l'arrière de la remorque n'est pas protégé. Pour éliminer ces problèmes, il serait prudent de rendre obligatoire l'installation d'un dispositif visant à éviter l'encastrement, ou de limiter l'empattement minimal des longues semi-remorques sur lesquelles sont installés des essieux tridem.

2. Les trains doubles de type B constituent une meilleure configuration de base dans les cas suivants : (a) quand on désire avoir la productivité et la manoeuvrabilité supérieures des remorques multiples, et (b) quand on peut utiliser des remorques non interchangeables.

De tous les trains doubles de type B, c'est le train à huit essieux et à tridem central qui offre la meilleure productivité sans vraiment sacrifier les performances dynamiques (par rapport au véhicule articulé à cinq essieux). Étant donné que la sécurité profite de la réduction du nombre de camions que permet une plus grande capacité, le train de type B à huit essieux est, du fait de ses performances et de sa simplicité, celui de tous les véhicules qui se rapproche le plus de la configuration idéale.

3. Les trains doubles de type C sur lesquels un diabolo à essieu orientable et à double timon remplace le diabolo classique à simple timon offrent un meilleur comportement dynamique que les trains de type A, notamment avec des remorques de 8,2 m (27 pieds).

Néanmoins, les performances de ces véhicules, notamment la dérive statique de l'essieu et la dérive passagère de l'essieu à grande vitesse, pourraient être sensiblement améliorées si les dispositifs d'orientation des diabolos étaient perfectionnés et faisaient l'objet d'une réglementation stricte. À l'heure actuelle, l'absence de réglementation des performances des diabolos (sauf dans certaines provinces où il faut obtenir des permis spéciaux) ainsi que la détérioration possible des performances à laquelle peuvent donner lieu les propriétés des diabolos font qu'il est impossible de donner un classement définitif au train de type C.

4. Les trains triples de type C, notamment les configurations à huit essieux, semblent prometteurs.

Premièrement, le train triple à remorques de 8,2 m (27 pieds) est un moyen particulièrement productif de transporter les marchandises volumineuses. Deuxièmement, le train de type C n'a pratiquement aucune des lacunes du train de type A tout en offrant les mêmes avantages pour le transport des marchandises générales : remorques interchangeables, diabolos amovibles et remorques de type fourgon pouvant être chargées par l'arrière à une baie de chargement classique. Toutefois, dans son utilisation actuelle, le train triple de type C fait preuve d'un niveau alarmant de dérive passagère de l'essieu à grande vitesse et peut être sujet à des mouvements oscillatoires quand les diabolos ont des propriétés de direction insatisfaisantes. La résolution

de ces problèmes et la réglementation du diabolo orientable dans le but d'améliorer ses performances feraient du train de type C un véhicule fort intéressant (si l'on considère uniquement la productivité et les performances dynamiques).

5. Le véhicule articulé à essieu central, où l'essieu central est orientable plutôt que fixe, a des performances légèrement inférieures aux niveaux de référence.

Toutes les performances de ce véhicule sont égales ou supérieures à celles d'un véhicule à essieu central rigide. Par ailleurs, ce véhicule n'est guère sensible aux propriétés de centrage de l'essieu orientable.

6. La semi-remorque à quatre essieux, sans essieu relevable ou autovireur exige une grande adhérence dans les virages serrés et a une stabilité latérale limitée.

Bien que le problème de l'adhérence puisse être résolu par l'emploi d'essieux relevables, cet emploi ne semble pas justifier les surcharges auxquelles il donne lieu. La grande capacité de poids de ce véhicule laisse supposer qu'il a une faible stabilité latérale, ce qui veut dire qu'il peut se renverser plus facilement.

7. Les trains doubles des Rocheuses ont des performances qui se comparent assez favorablement aux valeurs de référence, à l'exception de la dérive de l'essieu à faible vitesse.

Les caractéristiques dynamiques de cette configuration lui vaudraient un meilleur classement s'il n'y avait pas lieu de s'inquiéter des limitations imposées par la géométrie des chaussées, par exemple là où certaines parties du réseau routier ont des tracés plus généreux.

8. Le train double de type A à remorques de 45 ou de 48 pieds a d'excellentes performances dynamiques, amoindries uniquement par ses caractéristiques inférieures sur le plan de la dérive de l'essieu.

À titre d'exemple, l'emploi de ces véhicules sur les autoroutes américaines, où les points de rupture de charge sont proches de la sortie des autoroutes, semble être une pratique qui concorde avec les conclusions formulées à propos des performances globales de ce véhicule.

9. Le recours à des modèles informatiques de simulation pour prédire les performances dynamiques de gros véhicules articulés s'est avéré une méthode de recherche valable, précise et rentable.

Une simulation sur ordinateur représentant d'assez près les véhicules effectivement essayés et les conditions d'essai a montré qu'il y avait en général une bonne concordance entre l'essai et la simulation. Bien qu'ils n'offrent pas de validation stricte du programme d'ordinateur, ces travaux ont montré que la technique de simulation devrait fournir des résultats acceptables sur la gamme complète des configurations de véhicule et des manoeuvres étudiées.

Au-delà du simple domaine de la réglementation des poids et dimensions, il convient de mentionner certains principes et observations supplémentaires :

1. L'augmentation de la vitesse tend à réduire sensiblement les propriétés de stabilité et de manoeuvrabilité des camions.

Le freinage, la dérive de l'essieu à grande vitesse et la stabilité dynamique ont tous tendance à se détériorer quand la vitesse augmente. Il est donc impérieux de faire respecter les limitations de vitesse aux gros camions, et toute perspective d'une augmentation des vitesses limites devrait être revue dans le contexte de la sécurité des camions.

2. Il faudrait envisager d'exercer un contrôle rigoureux de la sélection des suspensions du tracteur et des remorques dans le cas des ensembles routiers qui ont une stabilité latérale anormalement faible ou pour lesquels le renversement pose des conséquences plus graves.

On pourrait instituer un système général de contrôle de la stabilité latérale des camions en exigeant la conformité de certains critères, vérifiée par des essais sur plate-forme inclinable.

6.0 RECOMMANDATIONS

En ce qui concerne l'étude de la dynamique des véhicules, il est recommandé de poursuivre les recherches sur plusieurs aspects des réactions des véhicules et sur leurs incidences au point de vue de la sécurité. Il faudrait également mieux comprendre certains aspects des performances des pneus, des suspensions et des diabolos afin d'augmenter la sécurité des camions.

Le principal obstacle qui semble se dresser à un mode entièrement rationnel de réglementation des ensembles routiers servant au transport des marchandises générales est l'incertitude qui se pose à propos du véhicule appelé à remplacer le train classique de type A.

1. Si l'on désire encourager l'emploi des trains de type C pour le transport interprovincial, il faudrait promouvoir la mise au point de diabolos capables de remplacer les diabolos classiques actuellement utilisés sur les trains doubles et triples de type A.

2. Il faudrait encourager l'emploi des configurations de camion les plus stables et les plus manoeuvrables, c'est-à-dire, par ordre de préférence, les configurations suivantes :

1) Véhicules articulés et trains doubles de type B
2) Trains doubles de type C (quand la technologie des diabolos aura été améliorée)
3) Trains doubles de type A

PARTIE 2 : RÉACTION DES CHAUSSÉES AUX VÉHICULES LOURDS

1.0 INTRODUCTION

L'un des principaux aspects de l'Étude sur les poids et dimensions des véhicules a été l'examen des questions se rapportant aux effets des véhicules lourds sur les chaussées. La grande diversité de la conception et de la construction des chaussées, ainsi que des caractéristiques géographiques et climatiques des douze administrations du Canada, a dicté les recherches qu'il fallait poursuivre dans ce domaine.

Depuis un certain nombre d'années, la plupart des administrations routières du Canada basent la conception de leurs chaussées sur les résultats des essais de l'AASHO (American Association of State Highway Officials). Toutefois, au lieu d'interpoler ces données, il faut maintenant les extrapoler, car, au fil des années, des changements se sont produits dans les charges à l'essieu, les systèmes de suspension, les vitesses et la masse totale en charge des véhicules. Pour pouvoir évaluer les coûts du transport, il est important de connaître les effets des véhicules lourds sur les chaussées et notamment les effets de certaines suspensions ou de certaines configurations de véhicules, là où des écarts importants se dégagent. Par ailleurs, l'adoption de nouvelles méthodes de conception et l'emploi de nouveaux matériaux de construction ont donné lieu à plusieurs nouveaux types de chaussées, et l'on connaît encore assez mal les effets qu'ont sur elles les véhicules lourds.

2.0 RÉSUMÉ DES MÉTHODES DE RECHERCHE

2.1 Enquêtes sur pistes d'essais

Ce programme visait à déterminer les dégâts relatifs causés par différentes charges à l'essieu à différents types de chaussées faisant partie du réseau routier interprovincial. Pour mesurer les contraintes exercées sur les chaussées ainsi que la déflexion sous la charge des véhicules, on a instrumenté quatorze pistes d'essais choisies par un comité d'ingénieurs des chaussées représentant toutes les administrations. Chaque piste d'essais est jugée représentative des conceptions de chaussées qui seront utilisées dans les années 90 dans les cinq régions géographiques du Canada, et correspond à des méthodes particulières de conception et de construction à l'aide de matériaux locaux (voir le tableau 1).

Sur chaque piste d'essais, on a procédé à un programme de chargements d'essais pour déterminer (en termes de coefficients d'équivalence de charge) les dégâts possibles causés par :
— des charges de 3 500 kg à 5 500 kg sur essieu simple (pneus simples)
— des charges de 9 000 kg à 11 000 kg sur essieu simple (pneus doubles)
— des charges de 5 500 kg à 22 000 kg sur essieu tandem
— des écartements d'essieu tandem de 1,2 m, 1,5 m et 1,8 m
— des charges de 20 000 kg à 32 000 kg sur essieu triple
— des écartements d'essieu triple de 2,4 m et 3,7 m
— des charges de 25 000 kg à 32 000 kg sur configurations à essieu tandem plus essieu central

Pour chaque type de charge, on a également examiné l'effet de la vitesse du véhicule sur la réaction de la chaussée.

Les volumes 8 et 9 des rapports techniques préparés par le Conseil de recherche de l'Alberta présentent des résumés détaillés des données recueillies à chaque piste d'essais, et analyse les coefficients d'équivalence de charge calculés à partir de ces données pour chaque charge d'essai. La discussion et les conclusions ci-après, qui sont basées sur les moyennes globales des résultats des essais, confirment les tendances établies.

TABLEAU 2 : PISTES D'ESSAIS — DESCRIPTION SOMMAIRE

Piste/Province	Revêtement mm	Couche de base mm	Sous-couche mm	Sous-sol	DJMA (% de camions)	
RÉGION DE L'ATLANTIQUE						
1 Nouveau-Brunswick	225	76	460	sable limoneux	10 390	(8)
2 Nouvelle-Écosse	160	275	200	gravier/argile	5 300	(17)
RÉGION DU QUÉBEC						
3a Québec	130	375	450	gravier granitique		
3b Québec	135	200	625	gravier granitique		
4 Québec	56	150	450	argile		
5 Québec	56	200	550	argile		
RÉGION DE L'ONTARIO						
6 Ontario	110	150	350	sable limoneux	7 800	(12,5)
7 Ontario	170	200	250	loam sableux	8 400	(20)
8 Ontario	190	300	90 +/–	loam argileux	4 950	(6)
RÉGION DES PRAIRIES						
9 Alberta	136	167		argile	1 700	(11)
10 Alberta	136	250		argile	1 700	(11)
RÉGION DU PACIFIQUE						
11 Colombie-Britannique	75	145 CBB:160	580	rocher sauté/ tourbe/sable	690	(1)
12 Colombie-Britannique	85	155 CBB:150	625	limon/sable	1 035	(0,3)
13 Colombie-Britannique	100	545	450	argile		

CBB: couche de base bitumineuse

2.2 Étude des caractéristiques des suspensions de camion

Ce programme visait essentiellement à examiner l'aptitude des différents types de suspensions à répartir uniformément la charge entre tous les essieux d'un groupe dans diverses conditions d'exploitation des camions. Le volume 11 du rapport technique fait état des résultats de cette étude.

Le Conseil national de recherches a mis au point une méthode d'instrumentation des essieux basée sur l'installation d'extensomètres et d'accéléromètres. Cette technique donne un profil continu des forces des roues transmises à la chaussée par chaque essieu du véhicule. Des échelles statiques et un vibreur électro-hydraulique ont servi à l'étalonnage statique et dynamique des instruments.

Des essieux instrumentés furent montés sur deux suspensions différentes de tracteur à essieux tandem et trois suspensions différentes de remorques, et les données sur les profils de charge furent recueillies pendant que le véhicule roulait sur un parcours routier standard comprenant une variété de revêtements, d'uni à rugueux. La rugosité de la chaussée fut déterminée à l'aide d'un appareil Mays puis convertie en un indice de confort à l'aide de l'échelle de conversion fournie par le ministère des Transports et des Communications de l'Ontario. L'étude porta également sur d'autres points, dont les suivants :

— Variation de la charge dynamique des roues en fonction du type de suspension et de l'espacement des essieux (écartement de la suspension)
— Variation de la charge dynamique des roues en fonction du nombre d'essieux sur la même suspension
— Dynamique essieu-essieu des suspensions à répartition de charge
— Transfert de charge dû au freinage
— Caractéristiques de transport de charge d'un essieu relevable pneumatique
— Charges d'impact causées par la traversée des passages à niveau
— Charges dynamiques imposées aux ponts
— Importance de l'effleurement des pneus dans les virages en fonction de l'écartement des essieux
— Variation des caractéristiques de répartition des charges des suspensions en fonction de l'angle d'inclinaison de la remorque

3.0 ESSAIS SUR ROUTE : RÉSUMÉ DES RÉSULTATS

3.1 Introduction

Il ressort des résultats des essais et des conclusions formulées à leur égard qu'un grand nombre de facteurs influencent la réaction des chaussées souples aux charges des essieux de camion. La déformation et la déflexion de la chaussée sous les charges d'essai des configurations standard ont varié d'une piste d'essais à une autre. Dans de nombreux cas, l'effet destructif potentiel d'une charge d'essieu, exprimé en termes d'un coefficient d'équivalence de charge calculé, variait considérablement selon qu'il s'agissait de la déformation ou de la déflexion.

Pour atteindre l'objectif de l'Étude sur les poids et dimensions des véhicules, c'est-à-dire l'uniformisation interprovinciale de la réglementation des poids et dimensions, il est essentiel de pouvoir reposer sur des conclusions générales et sur des tendances bien étayées. Cela dit, les résultats du programme des pistes d'essais ont été considérés globalement, et les sections ci-après décrivent les conclusions auxquelles on est arrivé.

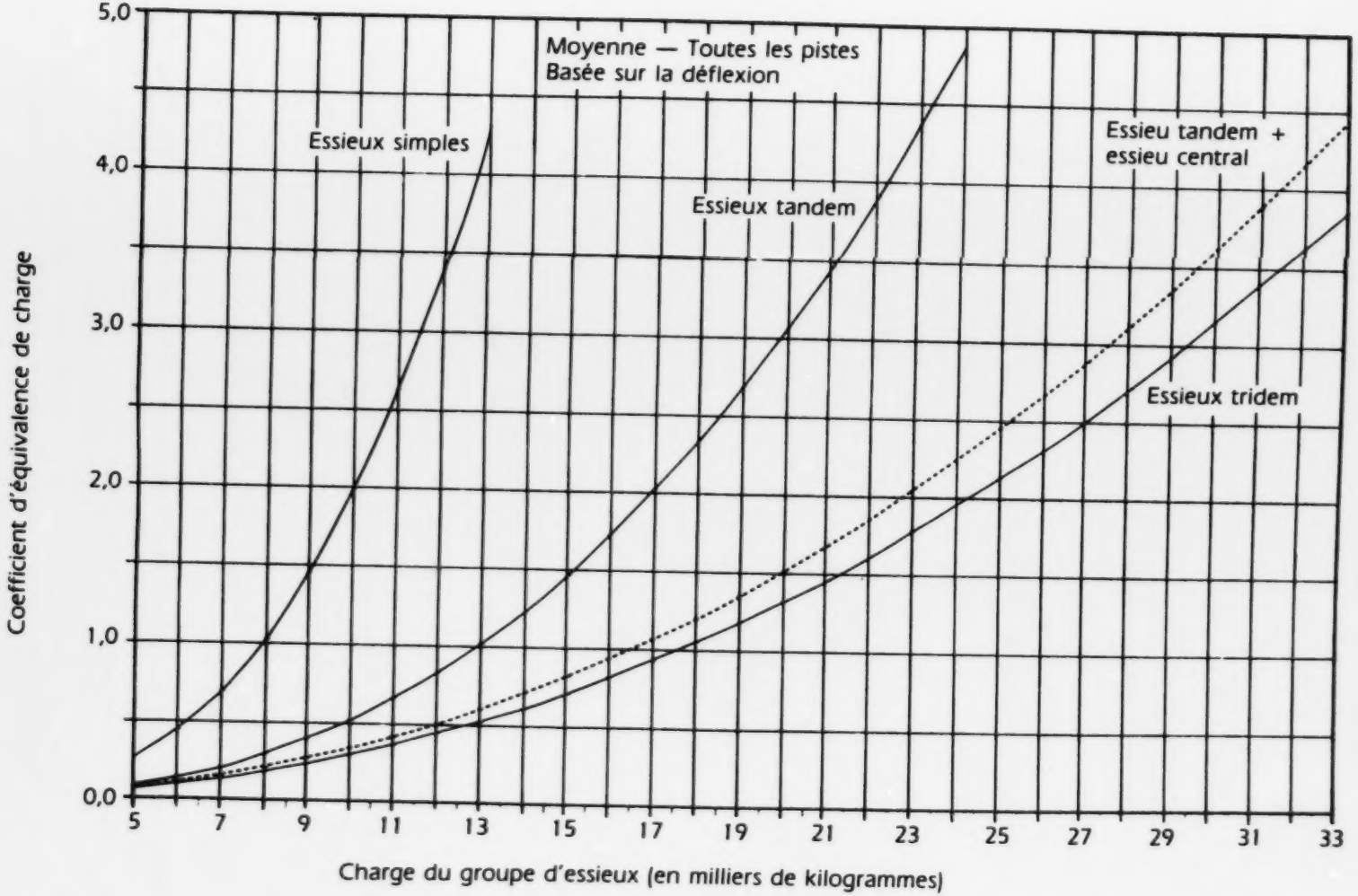
Il est possible de trouver des cas où les résultats des essais sur une piste donnée ou dans des conditions de charge données ne concordent pas avec les conclusions présentées. Toutefois, les principes énoncés ci-après sont appuyés par la majorité des résultats des essais, ainsi que par les résultats des recherches réalisées antérieurement au Canada ou ailleurs.

3.2 CONCLUSIONS GÉNÉRALES

1. D'après les coefficients d'équivalence de charge dérivés des données sur la déformation et la déflexion des chaussées, il est évident que les dégâts potentiels que peut causer une configuration d'essieu particulière pour une charge donnée varient considérablement entre les quatorze pistes utilisées dans l'étude. Cette variation montre qu'il serait impossible d'établir, pour différentes configurations d'essieux et différentes charges, un ensemble standard de coefficients d'équivalence de charge qui puisse être appliqué uniformément à toutes les chaussées souples utilisées au Canada. (Volume 8)

La figure 3 résume les coefficients d'équivalence de charge globaux moyens pour toutes les configurations étudiées (basés sur la déflexion). Ce graphique sert à illustrer les tendances et les conclusions générales qui se sont dégagées à toutes les pistes d'essais. Nous tenons toutefois à avertir le lecteur que les coefficients d'équivalence de charge indiqués à la figure 5 ne sont présentés que pour illustrer les tendances qui se dégagent des réactions que l'on a observées sur les chaussées d'essais. Les possibilités d'application de ces données à d'autres fins ou à d'autres évaluations sont fort limitées.

Figure 3 : Coefficients d'équivalence de charge



2. Bien qu'on ait observé de grandes variations des coefficients d'équivalence de charge en fonction de la piste d'essais, les dégâts relatifs causés par les essieux simples, les essieux tandem et les essieux tridem sont restés relativement uniformes pour des charges comparables tout au long du programme. À partir des coefficients d'équivalence de charge dérivés des données sur la déformation et la déflexion, il est possible de formuler les observations suivantes :

Dans la gamme de 8 000 à 12 000 kg, les essieux simples (pneus jumelés) causent en moyenne quatre fois plus de dégâts que les essieux tandem.

Dans la gamme de 20 000 à 24 000 kg, les essieux tandem causent en moyenne deux fois et demie plus de dégâts que les essieux tridem.

3. Par comparaison aux coefficients d'équivalence de charge d'usage courant publiés dans le "AASHO Interim Guide for Design of Pavement Structures" (1972 et 1986), les observations suivantes s'imposent :

a. Essieu simple : à des charges d'essieu variant entre 8 000 et 12 000 kg, les résultats des essais concordent de près aux coefficients d'équivalence de charge de l'AASHO.

b. Essieux tandem : à des charges d'essieu variant entre 5 000 et 15 000 kg, les coefficients d'équivalence de charge calculés sont supérieurs à ceux recommandés dans le guide de l'AASHO. Par contre, à mesure que la charge du groupe d'essieu se rapproche de 20 000 kg, les coefficients d'équivalence de charge calculés à partir des résultats des essais concordent de plus en plus avec ceux recommandés par l'AASHO.

Les observations ci-dessus sont basées sur les données présentées à la figure 4.

Les coefficients d'équivalence de charge de l'AASHO sont basés sur les données recueillies dans le cadre du programme d'essais de l'AASHO, qui consistait à contrôler le comportement des chaussées dans des conditions de charges connues. Les coefficients d'équivalence de charge calculés dans le cadre de l'Étude sur les poids et dimensions sont basés sur des mesures de la réaction des chaussées aux charges et sur l'emploi d'un rapport accepté entre la réaction et le comportement à long terme.

3.3 OBSERVATIONS

En se basant sur les moyennes globales des coefficients d'équivalence de charge calculées **à partir des données sur la déformation et la déflexion** pour toutes les charges d'essieu et toutes les configurations ayant fait l'objet d'essais sur toutes les pistes d'essais, il est possible d'aboutir aux conclusions suivantes :

3.3.1 ESSIEUX SIMPLES (pneus simples)

1. Bien qu'on n'ait recueilli qu'assez peu de données sur les essieux simples munis de pneus simples, il semble que l'essieu orientable d'un tracteur ayant une charge de 3 500 à 5 500 kg fasse autant de dégâts qu'un essieu simple à pneus jumelés ayant une charge deux fois plus grande (de 7 000 à 11 000 kg).

3.3.2 ESSIEUX SIMPLES (pneus jumelés)

1. En moyenne, une augmentation de 1 000 kg de la charge d'un essieu simple à pneus jumelés dont la charge se situe entre 8 000 et 12 000 kg fait augmenter les dégâts possibles d'environ 25 à 30 pour cent.

Figure 4 : Comparaison des équivalences AASHO et ARTC

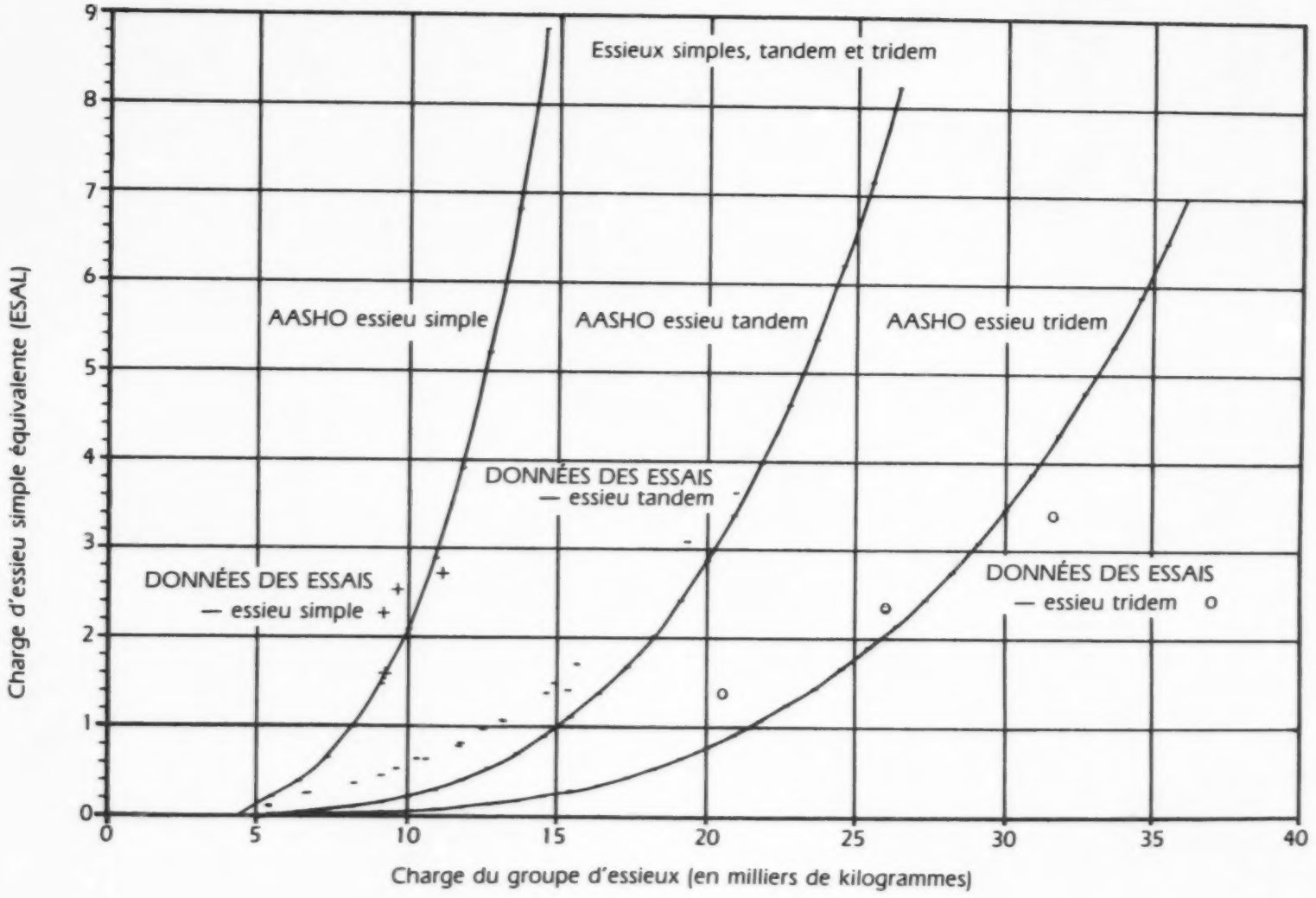
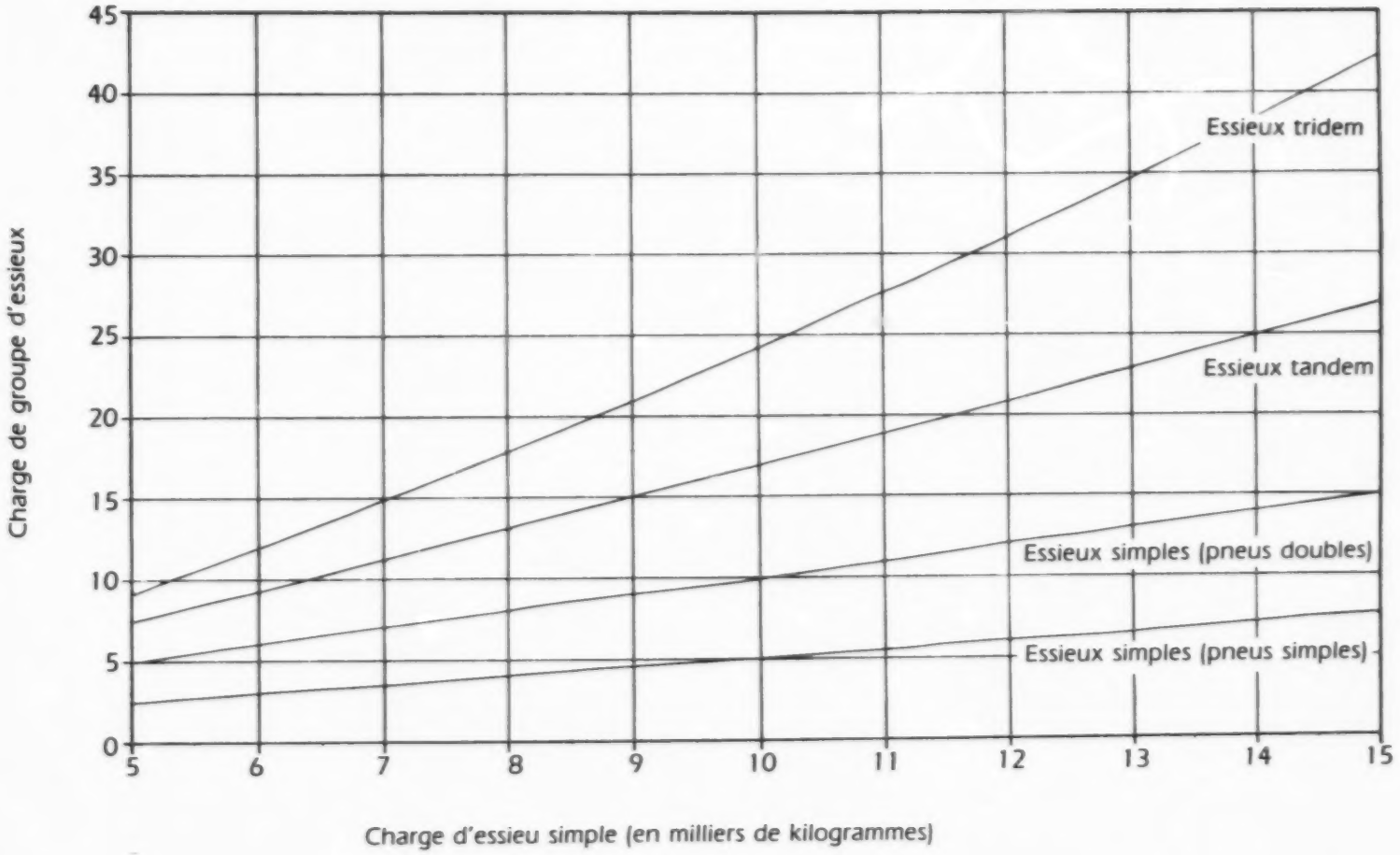


Figure 5 : Charge de groupe d'essieux correspondant aux dégâts équivalents causés par un essieu simple



Exemple :

Si l'on augmente de 8 000 à 12 000 kg la charge d'un essieu simple, on augmente les dégâts potentiels de 150 pour cent environ.

3.3.3 ESSIEUX TANDEM

1. En moyenne, une augmentation de 1 000 kg de la charge d'un essieu tandem dont la charge se situe entre 16 000 et 24 000 kg fait augmenter les dégâts possibles d'environ 10 à 15 pour cent.

Exemples :

a. Si l'on augmente de 16 000 à 20 000 kg la charge d'un essieu tandem, on augmente les dégâts possibles de 75 pour cent environ.

b. Si l'on augmente de 20 000 à 24 000 kg la charge d'un essieu tandem, on augmente les dégâts possibles de 50 pour cent environ.

2. Dans la même gamme de charges, les dégâts possibles causés par des essieux tandem à écartement de 1,2 m (48 pouces), 1,5 m (60 pouces) et 1,8 m (72 pouces) semblent être environ les mêmes. Dans le cas de certaines pistes d'essais, on a observé que les dégâts diminuaient quand l'écartement des essieux augmentait, mais, dans l'ensemble, il n'a pas été possible d'établir une corrélation entre l'écartement de l'essieu (dans la gamme de charges en question) et les dégâts causés.

3.3.4 ESSIEUX TRIDEM

1. En moyenne, une augmentation de 1 000 kg de la charge d'un essieu tridem dont la charge se situe entre 20 000 et 32 000 kg fait augmenter les dégâts possibles d'environ 6 à 10 pour cent.

Exemples :

a. Si l'on augmente de 20 000 à 25 000 kg la charge d'un essieu tridem, on augmente les dégâts possibles de 50 pour cent environ.

b. Si l'on augmente de 25 000 à 32 000 kg la charge d'un essieu tridem, on augmente les dégâts possibles de 60 pour cent environ.

2. Dans le cas des charges d'essieu variant entre 20 000 et 32 000 kg, trois essieux également espacés de 1,2 m (48 pouces) semblent causer autant de dégâts que trois essieux également espacés de 1,8 m (72 pouces). Comme dans le cas des essieux tandem, certaines chaussées ont moins réagi aux essieux tridem à plus grand écartement, mais, dans l'ensemble, il n'a pas été possible d'établir une corrélation entre l'écartement des essieux et les dégâts possibles (dans la gamme des charges en question).

3.3.5 ESSIEUX TANDEM AVEC ESSIEU CENTRAL

1. Dans le cas d'une charge de 25 000 à 32 000 kg, un essieu tandem à écartement de 1,8 m avec essieu central offrant un écartement total de 4,9 m (192 pouces) semble être 15 pour cent plus destructif qu'un essieu tridem symétrique à écartement total de 3,7 m (144 pouces).

3.3.6 VITESSE DU VÉHICULE

1. Dans tous les cas, la déformation et la déflexion ont été les plus fortes à la plus faible des vitesses utilisées pour les essais.

2. À plus de 15 km/h, on observe une réduction sensible (entre 10 et 15 pour cent) de la déformation et de la déflexion de pointe des chaussées. Toutefois, la mesure adoptée pour déterminer les dégâts possibles relatifs, c'est-à-dire le coefficient d'équivalence de charge, ne dépend aucunement de la vitesse du véhicule. Cette mesure décrit les dégâts causés par une charge à l'essieu ou une configuration par rapport à une charge de 8 180 kg sur essieu simple à pneus jumelés. Par conséquent, bien que la réaction des chaussées soit plus forte quand la vitesse diminue, le rapport des réactions reste relativement constant.

3.3.7 TEMPÉRATURE DES CHAUSSÉES

1. La déformation et la déflexion des chaussées augmentent quand augmente la température de la chaussée, mais, comme dans le cas de la vitesse des véhicules, le coefficient d'équivalence de charge ne dépend pas de la température de la chaussée.

4.0 RECHERCHES SUR LES CARACTÉRISTIQUES DES SUSPENSIONS DE CAMION : RÉSUMÉ DES RÉSULTATS

4.1 Introduction

L'étude des caractéristiques des suspensions de camion est fort complexe et les essais sont difficiles à contrôler. Le volume 11 des rapports techniques fait état des constatations découlant de l'examen de deux différentes suspensions de tracteur et de trois différentes suspensions de remorque par le Conseil national de recherches. Les auteurs soulignent que les résultats des essais dépendent dans une grande mesure du matériel soumis aux essais. Tout le matériel utilisé pour les essais a été fourni à l'état neuf par le constructeur et a fait l'objet d'une installation et d'un entretien appropriés. Il se peut que les résultats soient sensiblement différents dans le cas d'un matériel en service depuis une longue période ou dans le cas de nouvelles conceptions, de conceptions modifiées ou, encore, d'écarts dans les méthodes d'installation ou d'entretien.

Toutefois, bien que les données fournies par les essais dépendent du matériel et ne se prêtent donc pas à une application générale, la gamme des performances du matériel examiné dans cette étude présente un certain intérêt et offre des bases valides pour les conclusions suivantes :

4.2 Discussion générale

Par le passé, bien qu'on ait pris en considération les charges d'essieu dans la conception des chaussées, on n'a pas explicitement tenu compte des charges dynamiques des roues qui se manifestent quand un essieu suspendu roule à une certaine vitesse sur une route modérément rugueuse ou cahoteuse. Bien que la question de la dynamique des essieux commence depuis quelques années à intéresser les chercheurs, il est évident qu'il est très difficile de quantifier les dégâts supplémentaires attribuables aux charges dynamiques. Il ne fait aucun doute que les charges dynamiques endommagent les chaussées, et il est permis de penser que les plus fortes charges dynamiques découlant de l'augmentation des charges statiques d'essieu admissibles ont contribué à l'accélération de la détérioration des chaussées au cours des dernières années.

Toutefois, l'imposition de charges dynamiques aux chaussées par les véhicules lourds est loin d'être un nouveau phénomène qui serait causé par les véhicules en service. La dynamique des essieux a influencé le contrôle du comportement des chaussées dans le cadre du programme d'essais routiers de l'AASHO. Des suspensions figurant parmi les suspensions les plus dynamiquement actives équipaient les véhicules d'essais utilisés sur des tronçons de route à surface détériorée dans le cadre de ce programme. Il est cependant impossible de faire la distinction entre les dégâts pouvant être attribués à la composante dynamique des charges et les rapports établis entre le nombre de passages d'essieu de charge connue et le comportement des chaussées.

4.3 Observations

4.3.1 Caractéristiques d'égalisation des charges des trains roulants à essieux multiples

1. À condition d'être installés convenablement et d'être calibrés pour chaque application, tous les types de suspension examinés peuvent offrir une bonne répartition des charges statiques entre les essieux.

2. L'angle d'inclinaison de la remorque (dicté par la hauteur de la sellette d'attelage du tracteur) influence, à divers degrés, les caractéristiques de répartition des charges des différentes suspensions. Les suspensions à balancier et les suspensions pneumatiques sont relativement peu sensibles (déséquilibre de 3 à 6 pour cent) aux variations de l'inclinaison de la remorque. Par contre, à l'angle maximal utilisé pour les essais, un déséquilibre de 14 à 17 pour cent entre les charges des essieux a été mesuré dans le cas des suspensions à ressorts.

3. Dans les essais des charges dynamiques de roue, les deux essieux des trains tandem avaient plus ou moins les mêmes coefficients de charge dynamique, quel qu'était le type de suspension.

4.3.2 Caractéristiques de portance de charge de l'essieu relevable

1. On a constaté que l'essieu relevable pneumatique était fort capable de supporter sa part de la charge du véhicule sur des routes de rugosité diverse. Il faut toutefois que l'essieu et le régulateur de pression d'air aient été bien installés et entretenus.

4.3.3 Variation de la charge dynamique des roues en fonction de la vitesse du véhicule

1. Il existe de fortes corrélations entre la charge dynamique des roues, d'une part, et la rugosité de la chaussée et la vitesse du véhicule, d'autre part. Sur des chaussées rugueuses, la charge dynamique des roues augmente de façon exponentielle avec la vitesse du véhicule, et augmente généralement le plus quand la vitesse du véhicule passe de 60 km/h à 80 km/h.

4.3.4 Variation de la charge dynamique des roues en fonction du type de suspension

1. Sur une route unie (indice de confort supérieur à 8), les cinq types de suspensions ayant fait l'objet d'essais ont tous fait preuve d'une faible charge dynamique des roues, celle-ci correspondant généralement à entre 6 et 12 pour cent de la charge statique.

2. Sur une route plus raboteuse (indice de confort de 5), le coefficient de charge dynamique augmente plus rapidement dans le cas de certaines suspensions que dans le cas d'autres. À 80 km/h, les suspensions à coussin d'air avaient un coefficient de charge dynamique de 16 pour cent, les suspensions à ressorts un coefficient de 24 pour cent, et la suspension à balancier à ressorts de caoutchouc un coefficient de 39 pour cent.

4.3.5 Variation de la charge dynamique des roues en fonction de l'écartement des essieux

1. La charge dynamique des roues ne semble pas varier en fonction de l'écartement des essieux.

4.3.6 Transfert de charge d'un essieu à un autre sous l'effet du freinage

1. Le freinage n'a donné lieu à un transfert sensible de charge entre essieux que dans le cas de la suspension à ressorts : entre 15 et 20 pour cent de la charge est transféré de l'essieu avant à l'essieu arrière dans le cas d'un train tandem.

5.0 CONSTATATIONS TECHNIQUES : RÉACTION DES CHAUSSÉES

Influence de la structure de la chaussée :

1. Les effets destructifs d'une charge d'essieu donnée ou d'une configuration donnée varient considérablement en fonction de la conception de la chaussée souple.

2. Les effets destructifs relatifs des diverses charges d'essieu ou des diverses configurations restent à peu près constants, quel que soit le type de chaussée souple.

Essieux simples :

3. En moyenne, les essieux simples (à pneus jumelés) causent quatre fois plus de dégâts que des essieux tandem supportant la même charge.

Essieux tandem et tridem :

4. En moyenne, les essieux tandem causent deux fois et demie plus de dégâts que des essieux tridem supportant la même charge.

5. Dans les gammes ayant fait l'objet des essais, l'espacement des essieux des groupes tandem et tridem ne semble guère influencer l'importance des dégâts causés par le groupe d'essieux ou la charge dynamique des roues.

Commentaire :
Les chaussées souples sont moins sensibles aux charges des groupes tandem et tridem qu'à celles des essieux simples. Dans la gamme des espacements ayant fait l'objet des essais, des essieux à espacement symétrique causent de moins grandes déformation et déflexion de la chaussée, du fait du chevauchement des effets de chaque essieu du train. En conséquence, les trains à essieux multiples espacés de moins de 4 à 5 mètres causeront moins de dégâts qu'un essieu simple supportant la même charge ou qu'une série d'essieux supportant la même charge mais dont l'espacement plus grand les fait agir indépendamment.

Essieux relevables ou essieux centraux pneumatiques :

6. À condition d'avoir été bien installé et entretenu, un essieu relevable (central) pneumatique aura une charge prédéterminée sans écart sensible, dans tous les cas d'exploitation standard.

7. Une configuration comprenant un essieu tandem et un essieu central semble causer environ 15 pour cent de plus de dégâts qu'un essieu tridem à espacement régulier et à égalisation des charges.

Charges dynamiques de l'essieu :

8. Les charges dynamiques des roues sont importantes dans des conditions d'exploitation normales et dépendent dans une grande mesure de la vitesse du véhicule, de la rugosité de la chaussée et du type de suspension.

9. Dans les pires conditions (route raboteuse, vitesse élevée, suspension à faible amortissement), les charges dynamiques des roues peuvent correspondre à 140 pour cent des charges statiques.

10. Il se peut que les charges dynamiques des roues contribuent dans une grande mesure à la détérioration des chaussées.

Répartition des charges sur les groupes d'essieux multiples :

11. À condition d'être convenablement installées et entretenues et d'être calibrées pour chaque application, toutes les suspensions de tracteur et de remorque ayant fait l'objet des essais peuvent assurer une répartition uniforme des charges statiques et dynamiques.

12. Les essieux multiples des trains à répartition uniforme des charges causent moins de dégâts que le même nombre d'essieux à suspension indépendante supportant la même charge.

Commentaire :
L'ensemble des forces exercées sur les chaussées par les charges est proportionnel à la déformation ou déflexion maximale entraînée par l'un quelconque des essieux porteurs de charge. En conséquence, deux ou trois essieux qui se répartissent uniformément une charge causent moins de dégâts à la chaussée que deux ou trois essieux supportant la même charge de façon inégale.

6.0 RECOMMANDATIONS

Les recherches montrent que les trains de deux ou trois essieux où la charge est uniformément répartie causent moins de dégâts que deux ou trois essieux supportant collectivement la même charge. Par conséquent, en imposant strictement la répartition uniforme des charges entre les essieux des groupes tandem ou tridem, on pourrait limiter les effets destructifs de ces groupes, notamment quand on tient compte des dégâts possibles causés par les charges dynamiques des essieux. Il est donc recommandé :

1. de faire respecter les charges maximales admissibles des essieux de groupes à essieux multiples à l'aide de dispositifs de pesage d'essieu simple, pour s'assurer que la charge est répartie uniformément entre les essieux.

PARTIE 3 : PRINCIPES DE RÉGLEMENTATION POSSIBLES

1.0 PRINCIPES DE RÉGLEMENTATION POSSIBLES : STABILITÉ ET MANOEUVRABILITÉ DES VÉHICULES

La section ci-après énonce certains principes à l'intention de ceux qui auront à trancher les questions de stabilité et de manoeuvrabilité dans le cadre des politiques canadiennes visant les poids et les dimensions des véhicules. Pour commencer, ces principes supposent que, dans l'intérêt de la sécurité routière, la réglementation des poids et des dimensions doit tenir compte des caractéristiques effectives de stabilité et de manoeuvrabilité des véhicules. Bien entendu, toute réglementation doit également permettre à l'industrie du camionnage d'assurer ses services de la façon la plus productive et la plus efficace. Néanmoins, dans la mesure où il est possible d'améliorer les propriétés dynamiques des véhicules tout en satisfaisant à d'autres conditions d'ordre pratique, il faut supposer qu'une réglementation plus éclairée des poids et des dimensions ne peut que servir les intérêts à long terme du camionnage et de la sécurité du public.

Nous pensons que les recherches dont il est question ici ainsi que l'état général des connaissances nous permettent d'affirmer que les mesures suivantes permettraient d'améliorer la manoeuvrabilité des véhicules et d'augmenter la sécurité routière :

1. **Augmentation de la longueur des remorques, sous réserve des contraintes suivantes** :

   dérive de l'essieu à faible vitesse dans les tournants (la dérive nette ne devrait pas dépasser 6 m, c'est-à-dire 20 pieds dans un virage à 90 d'un rayon extérieur de 11 m ou 36 pieds).

   problèmes de déportement (si A est la distance entre le pivot d'attelage de la remorque et l'extrémité arrière de la remorque, et que L soit l'empattement de la remorque, il faudrait que le rapport A/L soit inférieur à 1,5 environ).

2. **Augmentation de l'empattement du tracteur, sous réserve des contraintes suivantes**:

   dérive de l'essieu à faible vitesse et rayon de virage minimal (en tenant compte du fait que la contribution du tracteur à la dérive de l'essieu à faible vitesse représente une proportion importante du total dans le cas des véhicules articulés courants).

3. **Minimisation de l'écartement d'un groupe d'essieu sur une semi-remorque**

   de façon à ce que la valeur du "besoin d'adhérence" soit d'environ 0,10 pour convenir aux conditions de conduite en hiver. Bien entendu, l'essieu central orientable présente un cas d'écartement qui ne présente aucun problème d'adhérence. Rien dans les recherches ne laisse penser qu'il faudrait décourager ces configurations.

4. **Minimisation du porte-à-faux du crochet d'attelage sur tous les trains de types A et C**

5. **Minimisation de la longueur du timon sur les diabolos des trains de type C**

   Il se peut qu'en minimisant à la fois la longueur du timon et celle du porte-à-faux du crochet d'attelage on aille à l'encontre des considérations utilisés dans les formules des ponts, qui tendent à encourager un plus grand écartement entre les essieux pour le transport des charges plus lourdes.

6. Augmentation de la largeur d'essieu

On peut, en particulier, grandement augmenter les caractéristiques de stabilité en allongeant la largeur des essieux pour la faire passer à 2,59 m (102 pouces). De façon plus générale, il faut reconnaître que toute augmentation future de la largeur admissible doit consister aussi à augmenter la largeur des pneus et pas seulement celle des essieux.

7. Limitation stricte des charges à l'essieu

Bien entendu, comme les camions servent à transporter des charges utiles, il est ridicule d'adopter pour objectif global la minimisation des charges. Toutefois, quand on envisage une augmentation des charges, il ne faut pas oublier que l'augmentation de la charge à l'essieu entraîne généralement une baisse de la stabilité et de la manoeuvrabilité du matériel moderne. À titre d'exemple, d'un point de vue dynamique il est préférable d'avoir une semi-remorque à essieu tridem qu'une semi-remorque à essieu tandem pour transporter la même charge.

9. Limitation stricte du rapport du poids de la charge utile à la surface du plateau

Il ne faut pas oublier qu'en augmentant les charges admissibles sans augmenter la longueur et la largeur du plateau, on élève le centre de gravité de la charge utile, ce qui nuit à la stabilité et à la manoeuvrabilité du véhicule.

2.0 PRINCIPES DE RÉGLEMENTATION POSSIBLES : RÉACTION DES CHAUSSÉES

1. Il faudrait contrôler de près et faire respecter les charges admissibles d'essieu simple ainsi que les tolérances, car les chaussées sont très sensibles à de petits changements dans les charges.

Commentaire :
Dans le cas des essieux simples supportant une charge de 8 000 à 12 000 kg, une augmentation de 10 pour cent de la charge à l'essieu entraîne une augmentation de 20 à 25 pour cent des effets destructifs. Sachant que les charges dynamiques des roues peuvent correspondre à entre 5 et 40 pour cent des charges statiques, les essieux simples peuvent avoir des effets destructifs très importants.

2. Si la réglementation doit prévoir des tolérances pour les charges maximales admissibles par essieu ou groupe d'essieux, il faut tenir compte des effets destructifs potentiels de légères augmentations de la charge pour diverses configurations d'essieux.

Commentaire :
Dans le cas des gammes de charges utilisées pour les essais, on a constaté qu'en augmentant de 1 000 kg la charge des essieux tandem ou tridem on augmentait les effets destructifs de 15 et de 10 pour cent respectivement. Dans le cas des essieux simples, une même augmentation de la charge augmente les effets destructifs de 25 pour cent environ. Si l'on augmente de 10 pour cent la charge par essieu ou groupe d'essieux, les effets destructifs potentiels augmenteraient de 25 à 30 pour cent, quelle que soit la configuration d'essieux.

3. Du point de vue de la protection des chaussées, les essieux qui peuvent être relevés par le conducteur du véhicule ne sont pas recommandés.

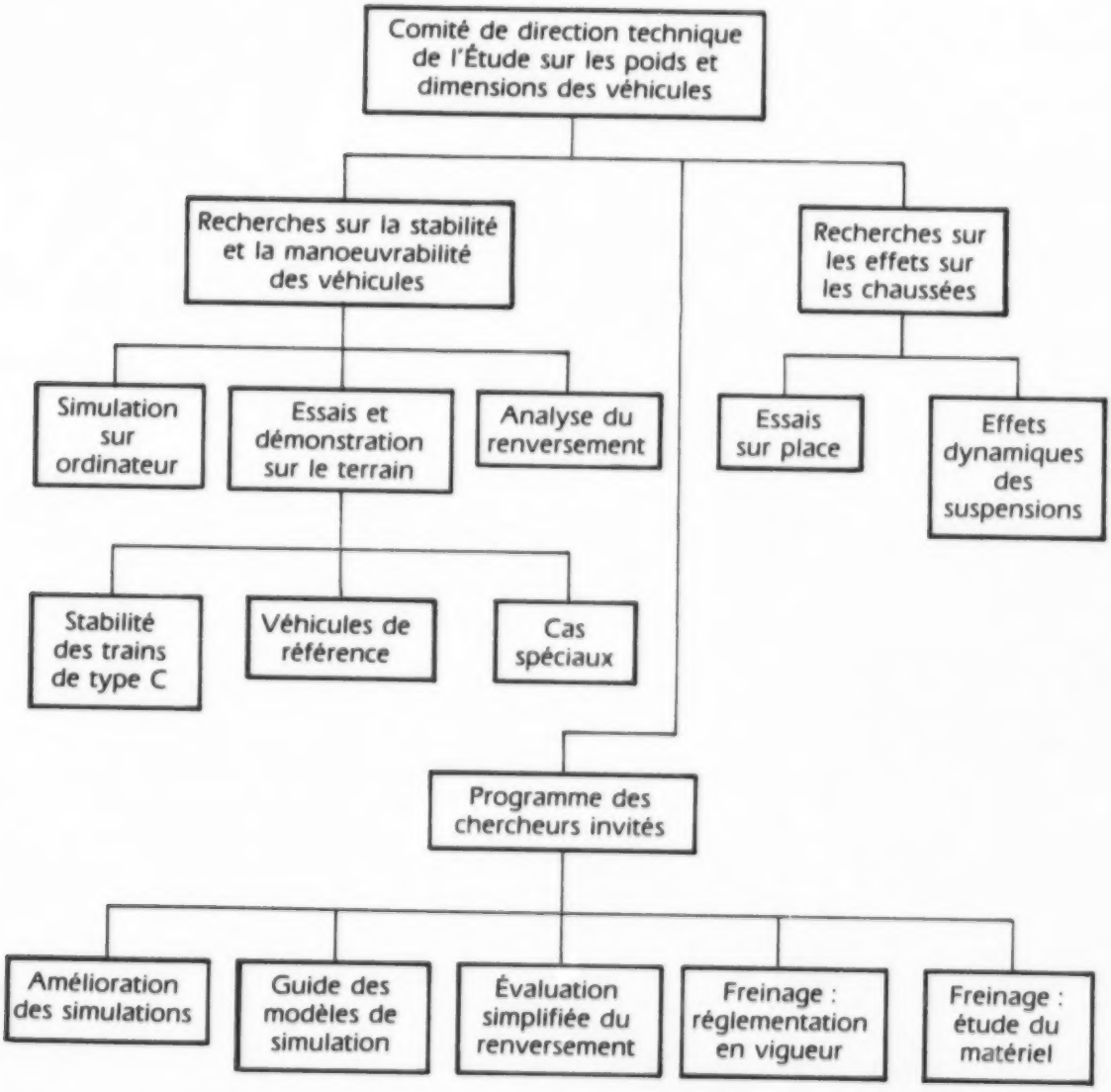
Commentaire :
Les recherches montrent que les essieux relevables pneumatiques peuvent supporter une charge prédéterminée, sans écart sensible, en conduite routière normale. Toutefois, ces essieux doivent

être relevés pour permettre au véhicule de prendre des virages serrés, généralement à faible vitesse. La chaussée est alors soumise à une plus grande charge sur les essieux restants pendant le virage à faible vitesse, là où la réaction de la chaussée est la plus forte. En substituant des essieux autovireurs non relevables aux essieux relevables, on permettrait au véhicule de transporter une charge utile équivalente avec moins de risque d'un excédent de charge.

ANNEXE A : ORGANISATION, ÉLÉMENTS ET OBJECTIFS DU PROGRAMME DE RECHERCHE

ÉTUDE SUR LES POIDS ET DIMENSIONS DES VÉHICULES

ORGANIGRAMME DES ÉLÉMENTS DES TRAVAUX TECHNIQUES



Titre : Simulation sur ordinateur des performances dynamiques des véhicules lourds

Organisme de recherche : Transportation Research Institute de l'université du Michigan

Objectifs :

a. Illustrer comment la stabilité et la manoeuvrabilité des véhicules varient en fonction des paramètres de leur conception.

b. Établir des techniques d'évaluation des performances dans le but d'évaluer la manoeuvrabilité des ensembles routiers.

Portée :

Le projet vise à examiner comment les caractéristiques de stabilité et de manoeuvrabilité des véhicules articulés lourds varient en fonction des paramètres suivants :

— Masse totale en charge : maximum de 10 000 kg par essieu
— Hauteur du centre de gravité
— Type de suspension retenu pour le tracteur et les remorques
— Tracteurs à deux ou trois essieux
— Semi-remorques à un, deux, trois ou quatre essieux
— Type de diabolo retenu
— Longueur du timon du diabolo
— Répartition de la charge
— Écartement des essieux du tracteur et des remorques
— Type de pneus retenus
— Voie : de 96 à 108 pouces
— Clapotage des liquides

On étudiera également d'autres paramètres et des variations de matériel se rapportant particulièrement à chacune des six catégories de véhicule articulé.

Méthode :

Avant de passer à la simulation sur ordinateur, les laboratoires de l'université du Michigan mesureront les données techniques et paramétriques se rapportant aux composants de véhicule et au matériel utilisés dans les parcs de camions canadiens. Ces données serviront alors à simuler les performances de véhicules articulés effectuant certaines manoeuvres, ces manoeuvres visant à mettre en évidences les caractéristiques de performances dans les domaines suivants :

— seuil de renversement statique
— résistance à l'effet de lacet
— dérive de l'essieu à grande vitesse
— réaction à des changements brusques de direction
— dérive de l'essieu à faible vitesse
— freinage dans les virages
— efficacité du freinage
— mise en portefeuille dans un virage serré

Résultats :

Un rapport définitif faisant état des effets constatés des variations des paramètres et du matériel sur la stabilité et la manoeuvrabilité de chacune des six catégories de véhicule.

Par ailleurs, dans le cadre du transfert de technologie prévu par le programme, on retirera de ces travaux des copies des programmes de simulation, ainsi que les données paramétriques se rapportant aux véhicules et au matériel canadiens.

Programme : Essais sur le terrain des performances dynamiques des véhicules lourds

Titre : Démonstration des performances des véhicules de référence

Organisme de recherche : Ministère des Transports et des Communications de l'Ontario

Objectifs :

Ce programme d'essais vise à réunir un ensemble complet de données techniques et visuelles décrivant les caractéristiques de stabilité et de manoeuvrabilité de chaque configuration de référence et particulièrement les mesures de performances suivantes :

— résistance à l'effet de lacet et stabilité directionnelle d'un véhicule vide sur une chaussée mouillée et glissante, avec et sans freinage
— résistance à l'effet de lacet et stabilité directionnelle d'un véhicule chargé sur une chaussée sèche
— résistance au renversement statique d'un véhicule chargé sur une chaussée sèche
— résistance au renversement dynamique d'un véhicule chargé sur une chaussée sèche
— oscillation de la remorque
— performances en virage

Portée :

Le programme d'essais visait à examiner le comportement des configurations de référence ci-après ;

— véhicule articulé
— train double de type A
— train double de type B
— train double de type C
— train triple de type A
— train triple de type C

Méthode :

Pour déterminer la gamme des performances de chaque véhicule, on fera exécuter aux véhicules les manoeuvres suivantes en charge et à vide :

— Changement de voie simple
— Braquage sinusoïdal
— Virage de rayon constant
— Conduite en ligne droite
— Freinage en ligne droite
— Dérive statique de l'essieu
— Espace d'encombrement dans les virages à droite

Résultat :

Un rapport final sur le programme d'essais, décrivant les performances relatives de chaque configuration de référence, ainsi qu'un enregistrement magnétoscopique condensé des essais, avec commentaire, résumant le programme et ses constatations.

La documentation à l'appui comprendra toutes les données des essais et l'enregistrement magnétoscopique intégral.

Programme : Essais sur le terrain des performances dynamiques des véhicules lourds

Titre : Effets de la longueur et du ballant de l'attelage sur la stabilité et la manoeuvrabilité des trains de type C

Organisme de recherche : Ministère des Transports et des Communications de l'Ontario

Objectifs :

Examiner comment la stabilité et la manoeuvrabilité des trains doubles à diabolo à double timon varient en fonction de la longueur du timon et du ballant de l'attelage

Portée :

Dans le cadre de ce programme, on fera subir des essais à un train double de type C pour examiner comment la stabilité et la manoeuvrabilité varient quand :

— la longueur du timon varie de 6 à 12 pieds
— le ballant de l'attelage varie de 0 à 2 pouces

Méthode :

Pour obtenir les variations exigées pour ce programme d'essais, on fabriquera un diabolo spécial de type B et une paire de dispositifs d'attelage. On fera ensuite faire une variété de manoeuvres sur le terrain au train double de type C pour déterminer sa sensibilité à des changements dans l'un ou l'autre ou les deux de ces paramètres.

Résultat :

Un rapport final sur les résultats des essais, ainsi qu'un enregistrement magnétoscopique condensé des essais, avec commentaire. La documentation à l'appui comprendra toutes les données des essais et l'enregistrement magnétoscopique intégral.

Programme : Essais sur le terrain des performances dynamiques des véhicules lourds

Titre : Démonstration des performances des véhicules — Cas spéciaux

Organismes de recherche : Ministère des Transports et des Communications de l'Ontario
Transportation Research Institute de l'université du Michigan

Objectif :

Établir, à l'aide d'un programme d'essais sur le terrain, les performances de certaines configurations de véhicules articulés, et les comparer à celles des configurations de référence choisies pour l'étude.

Portée :

Les configurations spéciales qui feront l'objet des essais comprendront :

— Tracteur avec semi-remorque à quatre essieux
— Train double de type A : deux remorques de 45 pieds, avec diabolo à simple timon et essieu tandem
— Tracteur avec semi-remorque à trois essieux et essieu autovireur relevable
— Train double de type A avec remorque-citerne et diabolo orientable à double timon

Méthode :

La gamme complète des performances de chaque configuration sera établie en faisant faire à chaque véhicule une série de manoeuvres choisies parmi les suivantes :

— changement de voie simple
— braquage sinusoïdal
— virage à rayon constant
— conduite en ligne droite
— freinage en ligne droite
— dérive statique de l'essieu
— espace d'encombrement dans les virages à droite
— braquage brusque
— freinage en virage
— route onduleuse

Résultat :

Chaque organisme de recherche préparera un rapport final et un enregistrement magnétoscopique des essais de chaque configuration, avec commentaire.

Titre : Essais sur le terrain du seuil de renversement des véhicules lourds à l'aide d'une plate-forme inclinable

Organisme de recherche : Centre de recherche industrielle du Québec

Objectifs :

a. Établir le seuil de renversement de chacune des configurations de référence faisant l'objet d'essais dans le cadre de l'Étude sur les poids et dimensions des véhicules.

b. Obtenir des données de validation pour évaluer les modèles informatiques de renversement statique actuellement disponibles.

c. Examiner les effets du choix de la suspension sur le seuil de renversement statique des véhicules articulés.

d. Examiner les variations du seuil de renversement en fonction du matériel : type de pneus, voie, jeu vertical de la sellette d'attelage, etc.

Méthode :

Une plate-forme inclinable de 80 pieds sera construite pour ce programme d'essais. Cette plate-forme pourra incliner à un angle maximal de 35 degrés des véhicules articulés d'un poids maximal de 200 000 livres. Chaque véhicule d'essai sera placé sur la plate-forme et sera élevé d'un côté jusqu'à ce qu'au moins un essieu situé de ce côté se déleste, c'est-à-dire jusqu'au seuil de renversement. Les données recueillies à l'aide de ces essais comprendront :

— l'angle auquel l'extrémité supérieure d'un essieu se déleste

— le rapport du transfert latéral de charge à l'angle d'inclinaison pour diverses suspensions de tracteur et de remorque

— le rapport du déplacement angulaire du tracteur et de la remorque à l'angle d'inclinaison de la plate-forme

Dans le cadre de ce programme, quarante-neuf essais seront effectués sur diverses configurations placées sur la plate-forme inclinable.

Résultat :

Un rapport final sur le programme d'essais, dans lequel il sera fait état de l'influence des types de suspension et de pneus sur la stabilité latérale des véhicules articulés.

Titre : Programme de recherche réalisé sur des chaussées d'essais

Organisme de recherche : Conseil de recherche de l'Alberta

Objectifs :

Étudier les dégâts que peuvent causer diverses charges d'essieu et diverses configurations à des chaussées de conception et de construction variées.

Portée :

Les essais porteront sur treize tronçons du réseau routier interprovincial répartis dans tout le Canada et ayant chacun des caractéristiques de conception et de construction différentes. Chaque tronçon d'essais a été doté d'instruments qui mesureront la déformation et la déflexion de la chaussée sous la charge des véhicules. Les essais visent à déterminer comment les chaussées réagissent quand :

— le poids par essieu simple varie de 9 000 à 11 000 kg
— le poids par essieu tandem varie de 14 000 à 22 000 kg
— le poids par essieu tridem varie de 20 000 à 32 000 kg
— l'espacement des essieux tandem varie de 1,2 à 1,8 m
— l'espacement des essieux tridem varie de 2,4 à 4,9 m
— la vitesse du véhicule varie du ralenti à 80 km/h

Méthodes :

La déformation et la déflexion de la chaussée de chaque tronçon sont mesurées pour chacune des configurations faisant l'objet des essais. Immédiatement après chaque essai, on mesure la réaction de la chaussée à une charge d'essieu simple de 18 000 livres (1 ESAL). La température des diverses couches de la chaussée est contrôlée pendant toute la durée de l'essai.

Résultat :

Un rapport final sur le programme d'essais, indiquant notamment les conclusions auxquelles on a abouti à propos des effets de l'écartement d'essieu, de la charge à l'essieu et de la vitesse du véhicule sur la réaction de chaussées de conception et de construction variées. Tous les résultats des essais et toutes les conclusions seront basés sur la réaction des chaussées aux charges d'essais par rapport à une charge d'essieu simple de 18 000 livres (ESAL).

Titre : Études sur la réaction dynamique des suspensions

Organisme de recherche : Conseil national de recherches du Canada

Objectifs :

Évaluer dans quelle mesure divers types de suspensions tandem et tridem peuvent répartir uniformément les charges entre les essieux sur des routes de rugosité variée.

Établir la réaction des chaussées aux charges dynamiques de la suspension des véhicules lourds.

Établir la corrélation entre les poids par essieu mesurés à un poste de pesage dynamique et les charges à l'essieu mesurées à l'aide d'essieux instrumentés.

Méthode :

Deux suspensions d'essieu moteur de tracteur et trois suspensions de remorque ont été équipés d'essieux instrumentés donnant un profil continu des charges dynamiques transmises par chaque essieu à la chaussée. On examinera la réaction dynamique de chacun de ces types de suspension sur des routes unies et raboteuses et sur des aspérités isolées et multiples. Pour chaque type de suspension, les instruments indiqueront :

— les forces transmises à la route par l'essieu
— les coefficients de répartition de charge du groupe d'essieux
— les coefficients de répartition des charges dynamiques

On examinera également les effets du freinage et de la hauteur du pont du tracteur et de la remorque sur la répartition des charges.

On fera passer le véhicule instrumenté sur une balance de pesage dynamique pour pouvoir établir une corrélation entre les données sur les forces de l'essieu et les données fournies par la balance de pesage dynamique.

Le véhicule servira également à examiner la réaction des chaussées aux charges dynamiques, à l'aide d'une série d'essais réalisés sur un tronçon d'essais instrumenté. Le Conseil de recherche de l'Alberta, en collaboration avec le Conseil national de recherches, mesurera la déformation et la déflexion de la chaussée causées par des charges dynamiques d'importance et de durée connues.

Résultat :

Un rapport final décrivant les méthodes d'essai utilisées et les conclusions formulées à propos de l'aptitude de diverses suspensions de tracteur et de remorque à répartir les charges. De plus, le Conseil de recherche de l'Alberta prépare un rapport sur la réaction des chaussées aux charges d'essieu dynamiques.

Programme : Programme des chercheurs invités

Titre : Perfectionnement des données fournies par les modèles de simulation

Chercheur : M. Roland Gagné, Conseil national de recherches

Objectif :

Mettre au point un progiciel d'animation capable de produire des représentations graphiques de véhicules articulés effectuant des manoeuvres simulées. Un programme d'interface pour le modèle du lacet-renversement, mis au point par l'université du Michigan, permet aux données de ce modèle d'entraîner directement le programme d'animation.

Méthode :

Un ordinateur personnel IBM est utilisé pour le programme d'interface et le progiciel d'animation. Quand on introduit dans l'ordinateur les données fournies par le modèle de simulation, l'ordinateur illustre le véhicule simulé effectuant la manoeuvre simulée. On peut également, en option, faire afficher d'autres données se rapportant au véhicule : vitesse, coefficient de lacet, accélération latérale, etc.

Résultat :

Un progiciel d'animation pouvant être utilisé avec les modèles de simulation de l'UMTRI pour illustrer les performances dynamiques des véhicules lourds.

Programme : Programme des chercheurs invités

Titre : Préparation d'un guide à l'intention de l'usager des modèles de simulation de la stabilité et de manoeuvrabilité des véhicules mis au point par l'UMTRI

Chercheurs : M. J.Y. Wong, Université Carleton
M. M. El-Gindy, Université Carleton

Objectif :

Superviser le transfert et l'installation des modèles de simulation de l'UMTRI au Canada, examiner et arriver à bien connaître leurs applications, et préparer à l'intention des utilisateurs un guide des modèles décrivant les méthodes à employer et les limites de leur application.

Portée :

Des copies des modèles de simulation de l'UMTRI ont été obtenus et transférés au Canada, où ils ont été installés au Laboratoire des systèmes du Conseil national de recherches. Le principal rôle des chercheurs invités a consisté à se familiariser avec les modèles afin de pouvoir aider d'autres chercheurs canadiens à les utiliser.

Les chercheurs ont également effectué des simulations sur chacun des modèles dans le but d'évaluer et de comparer les moyens et les limitations de chacun.

Méthode :

Dans le cadre de leurs travaux, les chercheurs ont fait progresser la compréhension de la modélisation du comportement des véhicules lourds au Canada :

— en organisant un atelier sur l'emploi des modèles
— en préparant un guide à l'intention des utilisateurs
— en préparant un rapport sur les moyens et les limitations relatifs de chaque modèle

Résultat :

Un guide des modèles à l'intention des utilisateurs, ainsi qu'un rapport sur les mérites et les limitations relatifs de chaque modèle examiné.

Programme : Programme des chercheurs invités

Titre : Mise au point de méthodes simplifiées pour évaluer le seuil de renversement des véhicules articulés

Chercheur : M. Jean Bédard, Centre de recherche industrielle du Québec

Objectif :

Mettre au point des méthodes simplifiées d'évaluation du seuil de renversement des véhicules articulés sans avoir à procéder à des essais grandeur nature sur plate-forme inclinable ou à des essais dynamiques.

Portée :

L'université du Michigan et l'Australian Road Research Board ont tous deux mis au point des modèles d'ordinateur permettant d'évaluer le seuil de renversement des véhicules. Ces modèles, ainsi que le programme d'essais sur plate-forme inclinable, permettent de bien comprendre les facteurs qui influencent le renversement et de mettre au point une analyse ou une simple méthode expérimentale pour évaluer rapidement le seuil de renversement de tout véhicule.

Méthode :

On examinera les modèles actuels de renversement et on en fera l'évaluation dans le contexte des types canadiens de véhicule et d'exploitation. On mettra au point un modèle simplifié et on établira quelles données paramétriques exige le modèle.

On mettra au point un moyen simple d'obtenir les données paramétriques nécessaires, et on comparera les prédictions fournies par le modèle aux résultats des essais sur plate-forme inclinable.

Résultat :

Un rapport final sur les recherches, comprenant entre autres une méthode simplifiée d'évaluation du seuil de renversement des véhicules.

Programme : Programme des chercheurs invités

Titre : Freinage des véhicules lourds — Examen de la réglementation des systèmes de freinage des véhicules lourds

Chercheur : M. Reg Lewis, Association canadienne du camionnage

Objectif :

Examiner et évaluer les règlements sur le freinage en vigueur au Canada, aux États-Unis, en Australie et en Europe, afin de mieux comprendre :

— les types de réglementation adoptés
— l'applicabilité des règlements étrangers au contexte canadien, y compris une évaluation de l'application des règlements et d'autres limitations
— l'application possible de règlements semblables au Canada

Portée :

Examen des règlements visant actuellement les véhicules lourds dans les administrations choisies.

Méthode :

L'examen de la réglementation sera réalisé du point de vue d'un exploitant individuel connaissant bien le domaine. Un rapport final sera présenté.

Résultat :

Un rapport final sur l'évaluation de la réglementation.

Programme : Programme des chercheurs invités

Titre : Freinage des véhicules lourds

Chercheur : M. S. Sankar, université Concordia

Objectifs :

a. Examiner et documenter les dispositifs de freinage et systèmes de contrôle disponibles aux véhicules lourds

b. Examiner les recherches passées et en cours sur le freinage des véhicules lourds.

Portée :

Le chercheur examinera la conception et la technologie modernes du freinage des véhicules lourds dans le but de rassembler des documents techniques sur le sujet et d'offrir des conseils techniques sur l'applicabilité de certains dispositifs et composants de freinage aux camions canadiens.

Les travaux comprendront également un examen des recherches réalisées au Canada et aux États-Unis dans le domaine des freins d'essieux moteurs, du temps de freinage pneumatique et des dispositifs antidérapants et anti-blocage, dans le but de déterminer les domaines où il faudrait approfondir les recherches.

Méthode :

Examen de la documentation pertinente et entretiens avec les fabricants de freins et les exploitants de parcs de camions.

Résultat :

Un rapport final sur les études réalisées et descriptions techniques des dispositifs et composants de freinage disponibles.

RAPPORTS TECHNIQUES DE L'ÉTUDE SUR LES POIDS ET DIMENSIONS DES VÉHICULES

Volume 1 — Influence des poids et dimensions sur la stabilité et la manoeuvrabilité des camions lourds au Canada — Première partie

Volume 2 — Influence des poids et dimensions sur la stabilité et la manoeuvrabilité des camions lourds au Canada — Deuxième partie

Volume 3 — Programme d'essais de démonstration — Résumé des essais de performances des véhicules de référence

Volume 4 — Programme d'essais de démonstration — Véhicules articulés à cinq, six ou sept essieux

Volume 5 — Comparaison de simulation et essais des véhicules de référence et des véhicules articulés

Volume 6 — Effets du ballant de l'attelage et de la longueur du timon sur la stabilité et la manoeuvrabilité des trains doubles de type C

Volume 7 — Évaluation de la stabilité latérale des véhicules articulés à l'aide d'une plate-forme inclinable

Volume 8 — Programme d'essais sur la réaction des chaussées aux poids lourds — Première partie : Sommaire des données

Volume 9 — Programme d'essais sur la réaction des chaussées aux poids lourds — Deuxième partie : Coefficients d'équivalence de charge

Volume 10 — Réaction des chaussées aux charges à l'essieu causées par les cahots : Résultats des expériences

Volume 11 — Variations des charges dynamiques des roues d'un véhicule articulé lourd en fonction du type de suspension

Volume 12 — Évaluation du seuil de renversement des véhicules : Évaluation des modèles de simulation

Volume 13 — Systèmes de freinage des véhicules lourds : Examen des dispositifs et des systèmes de contrôle disponibles

Volume 14 — Étude de la réglementation des systèmes de freinage des véhicules lourds en Europe, aux États-Unis, en Australie et au Canada

Volume 15 — Représentation graphique des produits des modèles de simulation des véhicules lourds : Programme d'animation tridimensionnelle pour modèles informatiques

Volume 16 — Comparaison des divers modèles de simulation servant à prédire le comportement dynamique latéral des véhicules articulés

Nota : Les volumes susmentionnés ont été publiés en anglais seulement.

GLOSSAIRE

Centre de gravité — Point fixe où s'exerce la résultante des forces de la gravité. Dans le contexte de la stabilité des poids lourds, il existe une forte corrélation entre la position de ce point dans le plan vertical et la stabilité latérale.

Charge utile — Désigne, dans ce rapport, la masse totale en charge d'un véhicule moins la tare ou le poids à vide du véhicule.

Coefficient d'équivalence de charge — Facteur servant à mesurer les dégâts potentiels relatifs causés aux chaussées par l'essieu d'un camion et exprimé en termes du nombre de passages d'un essieu simple de 8 180 kg équipé de pneus doubles.

Coefficient de charge dynamique — Premier écart type de la charge dynamique de la roue.

Coefficient de frottement — Rapport du frottement entre deux corps en contact, parallèlement à la surface de contact, à la force perpendiculaire à la surface de contact avec laquelle les corps se pressent l'un contre l'autre.

Crochet d'attelage — Crochet situé à l'arrière d'une semi-remorque ou d'une remorque et dans lequel s'emboîte l'anneau d'un timon.

Déboîtement latéral — Distance latérale de déplacement du dernier essieu d'un ensemble routier par rapport au parcours du premier essieu d'un véhicule effectuant une manoeuvre d'évitement. Il dénote le phénomène d'amplification arrière que l'on observe dans les ensembles articulés multiples.

Déflexion — Déplacement vertical de la surface d'une chaussée sous l'effet de la charge d'un essieu ou groupe d'essieux.

Dégât — (voir Effet destructif)

Diabolo — Dispositif servant à convertir une semi-remorque en remorque et comprenant généralement un essieu et une sellette d'attelage montés sur un châssis, offrant ainsi un moyen de remorquage.

Diabolo à double timon — Diabolo à cadre rigide muni de deux timons remorqués à deux points d'attache placés sur une même ligne transversale horizontale sur le véhicule remorqueur. L'essieu d'un diabolo à double timon comprend un mécanisme autovireur. Deux remorques reliées ensemble par un diabolo à double timon constituent un train double de type C (voir la figure 6).

Diabolo à simple timon — Diabolo remorqué à un seul point d'attache sur l'axe du véhicule tracteur (voir la figure 6).

Écartement des essieux — Distance longitudinale entre les axes du premier et du dernier essieux d'un groupe d'essieux.

Effet destructif — Effet de la charge à l'essieu d'un camion sur la durée de vie prévue d'une chaussée. Il s'agit du rapport de la réaction de la chaussée (en termes de tension interfaciale ou de déflexion) causée par la charge d'essieu en question à la réaction causée par une charge d'essieu simple de 8 180 kg (voir également Coefficient d'équivalence de charge).

Empattement — Distance entre l'essieu avant et le centre géométrique des roues arrière d'un véhicule. Quand les roues arrière font partie d'un groupe d'essieux multiples, l'empattement est la distance entre l'essieu avant et le centre géométrique d'un groupe d'essieux comprenant tous les essieux non directeurs en contact avec le sol.

Entraxe — Distance longitudinale entre les centres de deux essieux adjacents sur un tracteur, une semi-remorque ou une remorque.

Espacement des essieux — Distance longitudinale entre les axes de deux essieux consécutifs d'un groupe d'essieux.

Essieu — Ensemble de deux roues ou plus dont les axes sont dans un même plan vertical et qui transmet le poids à la chaussée.

Essieu autovireur — Essieu dont les roues peuvent pivoter sous l'action des forces produites entre le pneu et la surface de la chaussée.

Essieu central — Essieu simple, normalement relevable et à suspension pneumatique, situé en avant du groupe d'essieux fixe qui se trouve à l'arrière d'une semi-remorque.

Essieu directeur — Désigne, dans ce rapport, l'essieu avant du tracteur.

Essieu orientable — Essieu pouvant pivoter, soit sous l'action des forces entre le pneu et la chaussée, soit grâce à un dispositif mécanique ou autre.

Essieu relevable — Essieu à suspension pneumatique monté sur un tracteur, une semi-remorque ou une remorque et comprenant un dispositif de relevage.

Essieu rigide — Essieu monté de façon permanente sur un tracteur, une semi-remorque ou une remorque et n'offrant aucun moyen de direction.

Essieu simple — Essieu à suspension indépendante monté sur un tracteur, une semi-remorque ou une remorque.

Essieu tandem — Groupe de deux essieux où la charge est répartie uniformément entre les essieux.

Essieu tridem — Trois essieux à espacement symétrique ayant recours à un mécanisme d'égalisation des charges d'essieu sur un tracteur, une semi-remorque ou une remorque.

Essieu triple — Dans le contexte de ce rapport, désigne un essieu tridem.

Groupe d'essieux — Essieux d'un tracteur, d'une semi-remorque ou d'une remorque dont les axes consécutifs sont à espacement régulier et qui ont recours à un mode quelconque d'égalisation des charges à l'essieu (voir également Essieux tandem et tridem).

Groupe d'essieux quadruples — Sur une semi-remorque ou une remorque, groupe de quatre essieux à disposition symétrique ou non et assurant une répartition uniforme ou non des charges.

Indice de confort — Mesure de la rugosité d'une chaussée, mise au point par le ministère des Transports et des Communications de l'Ontario et basée sur les valeurs indiquées par un dispositif de mesure Mays. L'indice varie de 0 à 10, 10 indiquant une chaussée très unie.

Mise en portefeuille — Rotation accidentelle d'un tracteur ou d'un diabolo autour du pivot d'attelage, amenant la cabine du tracteur à heurter l'avant de la remorque ou l'arrière de la première remorque à heurter l'avant de la remorque suivante.

Pivot d'attelage — Goupille de métal située sur une plaque montée sous le châssis d'une semi-remorque et s'attachant au dispositif de verrouillage d'une sellette d'attelage pour le remorquage.

Porte-à-faux — Distance entre l'axe du dernier essieu et l'extrémité arrière d'une semi-remorque ou d'une remorque, c'est-à-dire normalement le pare-choc.

Sellette d'attelage — Plaque à dispositif de verrouillage servant à atteler une semi-remorque à un tracteur ou à un diabolo.

Suspension à balancier — Terme générique s'appliquant aux suspensions d'essieux en tandem qui utilisent une poutre rigide, pivotant en son centre ou à son point d'équilibre pour assurer le partage des charges statiques entre les deux essieux qui sont fixés à l'une et l'autre extrémités de la poutre. La poutre elle-même est suspendue au châssis, généralement au centre, par des coussins d'air, des ressorts d'acier, de caoutchouc ou des ressorts hybrides (voir la figure 7).

Suspension à quatre ressorts — (voir Suspension à ressorts à lames).

Suspension à ressorts à lames — Terme générique désignant les suspensions où un ou plusieurs ressorts à lames d'acier constituent le principal moyen de suspension de l'essieu (voir la figure 7).

Suspension pneumatique — Terme générique désignant les suspensions où un ou plusieurs coussins d'air constituent le principal support de l'essieu. Le coussin d'air consiste généralement en un sac de caoutchouc ou de néoprène gonflé d'air à une pression prédéterminée ou contrôlée (voir la figure 7).

Tension interfaciale — Changement en longueur du fond de la couche de béton bitumineux par millimètre de longueur non modifiée sous la charge d'un essieu de camion.

Timon — Longue pièce de métal reliant une remorque à une autre.

Train double de type A — Ensemble routier constitué d'un tracteur, d'une semi-remorque et d'une ou de deux remorques à simple timon. Le plus souvent, les remorques sont des semi-remorques attachées à des diabolos à simple timon (voir la figure 6).

Train double de type B — Ensemble routier constitué d'un tracteur et de deux ou trois semi-remorques, l'avant de chaque unité remorquée reposant sur la sellette d'attelage de la remorque précédente (voir la figure 6).

Train double de type C — Ensemble routier comprenant un tracteur et une semi-remorque, suivis d'une ou de deux autres semi-remorques converties en remorques à l'aide de diabolos à double timon (voir la figure 6).

Train roulant — Ensemble de deux ou trois essieux dont les axes sont régulièrement espacés et qui sont articulés à partir d'un point d'attache commun sur le tracteur ou la remorque, ce qui tend à répartir les charges uniformément entre les essieux du groupe.

Véhicule articulé — Ensemble routier comprenant un ou plusieurs points d'articulation.

Véhicule de référence — Configuration de véhicule à dimensions précisées et dont les performances de référence servent à évaluer celles de véhicules semblables.

Voie — Distance entre le centre du groupe de pneus à l'extrémité d'un essieu et le centre du groupe de pneus à l'autre extrémité de l'essieu.

Figure 6 : Mécanismes d'attelage des ensembles routiers

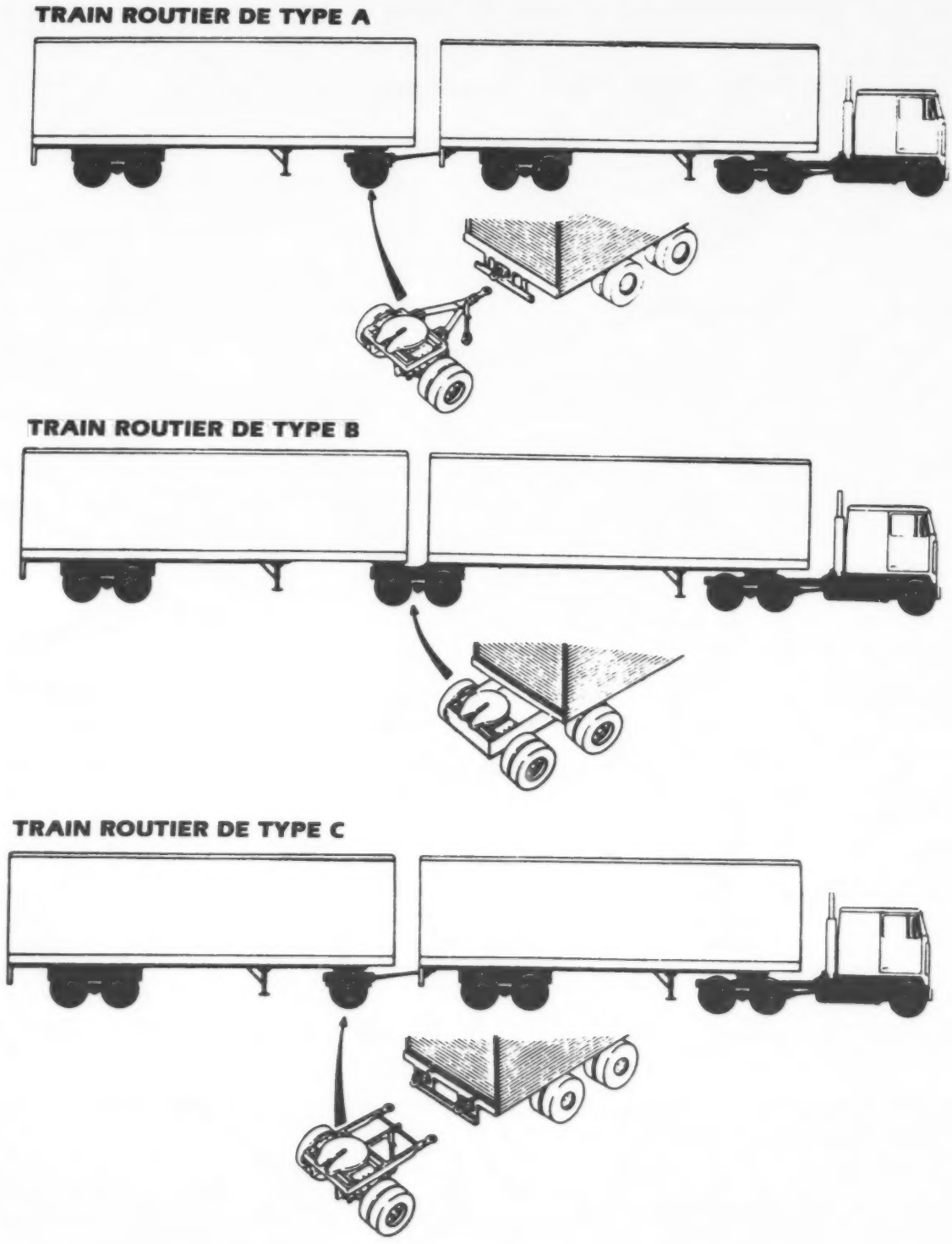
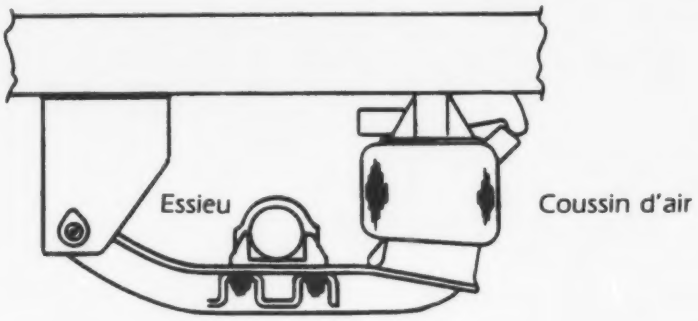
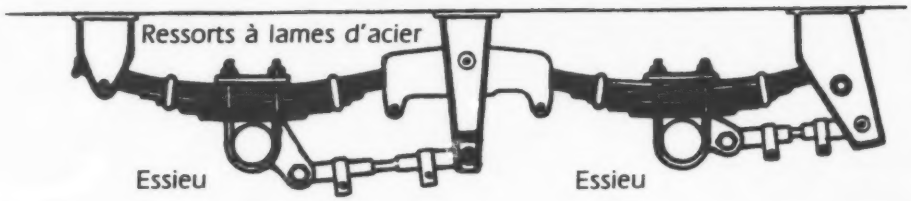
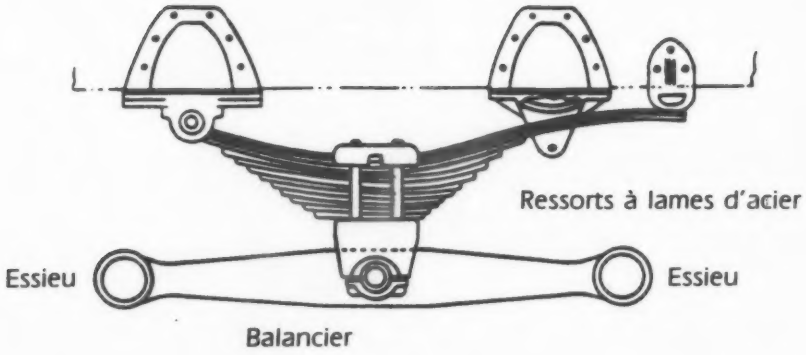


Figure 7 : Types de suspension de camion

Suspension pneumatique



Suspension à ressorts à lames



Suspension à balancier